

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Modelação e Simulação do Crescimento Urbano
da Cidade de Benguela-Angola**

Alberto da Silva Sachilombo

Dissertação orientada
pelo Prof. Doutor Jorge Rocha

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação
Territorial Aplicados ao Ordenamento

2018

Universidade de Lisboa

Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



Modelação e Simulação do Crescimento Urbano

da Cidade de Benguela-Angola

Alberto da Silva Sachilombo

Dissertação orientada pelo

Prof. Doutor Jorge Rocha

Júri:

Presidente: Professor Doutor Paulo Alexandre Morgado Sousa do
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa;

Vogais:

- Professora Doutora Cristina Delgado Henriques da Faculdade de Arquitetura da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2018

“É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que alinhar-se com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.” (Theodore Roosevelt).

“Aqueles que se sentem satisfeitos sentam-se e nada fazem. Os insatisfeitos são os únicos benfeitores do mundo.” (Walter S. Landor).

Agradecimentos

Agradeço a todos que ao longo do mestrado ajudaram, direta ou indiretamente, a cumprir os meus objetivos e realizar mais etapa importante da minha formação académica. Desta forma, deixo apenas algumas poucas palavras, mas num sentido de profundo sentimento de reconhecido agradecimento.

Ao Coordenador do mestrado e todos os professores que fizeram parte do curso, agradeço a oportunidade e o privilégio que tive em frequentar este mestrado que muito contribuiu para o enriquecimento dos meus conhecimentos.

Ao Professor Doutor Jorge Rocha, expresso o meu profundo agradecimento pela orientação e apoio incondicional que muito elevou os meus conhecimentos científicos e, sem dúvida, estimulou o meu desejo de querer, sempre, saber mais e a vontade constante de querer fazer melhor. O seu apoio foi determinante na elaboração desta Tese.

Agradeço a minha família, amigos e companheiros.

Ao Professor Doutor José Gomes dos Santos, da faculdade de letras da universidade de Coimbra, o meu sincero agradecimento pelos ensinamentos, obrigado pelo profissionalismo.

Resumo

Este trabalho teve como objetivo modelar e simular o crescimento urbano da cidade de Benguela - Angola, nas datas de 1994, 2004 e 2014, por meio de imagens de detecção remota, nomeadamente Landsat 5 e 8, foram classificadas três imagens, derivou-se os mapas de uso do solo em dois níveis, o nível 1 com 5 classes e o nível 2 com duas classes (não urbano e urbano) a partir desses resultados, empregou-se os autómatos celulares (AC) para construção de modelos simulados de crescimento urbano de 1970, 2014 e 2040, os modelos foram construído por intermédio do *software* Idrisi Selva, no módulo do *Land chang Modeler* (LCM) de modo a produzir resultados capazes de explicitarem o processo de ocupação urbana nas respetivas datas.

Palavras-chave: Crescimento urbano; Sistemas de Informação Geográfica; Detecção Remota; Autómatos Celulares

Abstrat

The objective of this work was to model and simulate the urban growth of the city of Benguela - Angola, in 1994, 2004 and 2014, through remote sensing images, namely Landsat 5 and 8, three images were classified, the maps of land use in two levels, level 1 with 5 classes and level 2 with two classes (non-urban and urban) from these results, cellular automata (CA) were used to construct simulated urban growth models of 1970, 2014 and 2040, the model was constructed through the software Idrisi Selva, in the module of Land chang Modeler (LCM) in order to produce results able to explain the process of urban occupation in the respective dates.

Key words: Urban Growth; Geographic Information Systems; Remote Sensing; Cellular Automata

Siglas e Acrónimos

AC – Autómato Celular

CAD – Computer Aided Design (Desenho Assistido por Computador)

CFB – Caminho de Ferro de Benguela

DPUA - Direcção Provincial do Urbanismo e Ambiente

DN – Digital Number

DR – Detecção Remota

ETM – Enhanced Thematic Mapper (Mapeador Temático Melhorado)

GPB – Governo Provincial de Benguela

ISCED – Instituto Superior de Ciências da Educação

INE - Instituto Nacional de Estatística

IGCA – Instituto de Geografia e Cartografia de Angola

IGEOE – Instituto Geográfico do Exército

LCM - Land Chang Modeler

MLP - Multi-Layer Perceptron

NASA - National Aeronautics and Space Administration

OT- Ordenamento do Território

PDM- Plano Diretor Municipal

Qgis - Quantum GIS

RL – Regressão Logística

RGB- Red/Green/Blue

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

TIFF - Tagged Image File Format

TM – Thematic Mapper

UTM – Universal Transversa de Mercator

USGS - United States Geological Survey

WGS - World Geodetic System

Índice Geral

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstrat.....	v
Siglas e Acrónimos	vii
Capítulo 1 - Introdução	1
1.1 Geotecnologias, geoprocessamento e uso e ocupação do solo	3
1.2 Objetivo e motivação	5
1.3 Estrutura da dissertação.....	6
Capítulo 2 - Modelos e técnicas.....	9
2.1 - Detecção remota e modelação urbana	9
2.2 - Modelos para representação de alterações do uso do solo	13
2.2.1 - Autómatos Celulares	14
2.2.2 - Autómatos celulares e modelação urbana.....	15
2.2.3 - Regras de transição dos Autómatos Celulares	16
2.2.4 - Resolução espacial	17
2.2.5 - Resolução temporal.....	18
2.2.6 - Calibração e validação	18
2.2.7 - Fraquezas dos autómatos celulares na modelação urbana	18
Capítulo 3 - Enquadramento geográfico-institucional	21
3.1 - Enquadramento jurídico para o ordenamento do território	21
3.2 - Localização da área em estudo	21
3.2.1 - Indicadores socioeconómicos	23
3.2.2 - Qualidade de vida	24
3.3 - Carácter do suporte físico do solo	24
3.4 - Serviços, espaços de lazer, espaços verdes e outros.....	26
3.5 - Evolução demográfica	28

3.6	- Infraestruturas rodoviárias	29
Capítulo 4 - Modelação do Crescimento Urbano de Benguela		31
4.1	- Características dos dados	33
4.2	- Metodologia	37
4.3	- Pré - Processamento	39
4.3.1	- Influência das bandas	40
4.4	- Classificação das imagens de satélite	43
4.5	- Derivação dos mapas de uso do solo	48
4.6	- Simulação do crescimento urbano	61
4.7	- Análise de Resultados	77
Capítulo 5 - Conclusões		83
5.1	- Limitações	84
5.2	- Recomendações	84
Bibliografia		87

Índice de Figuras

Figura 2.1 - O espectro eletromagnético (Lillesand e Kiefer, 1994).	11
Figura 2.2 - Curvas de refletividade do solo, água e vegetação (Aggarwal, 2003).	12
Figura 3.1 -Enquadramento da área em estudo.	22
Figura 3.2 - Fotografia aérea da cidade de Benguela (Google Earth, 2017).	26
Figura 3.3 – População em Benguela nos anos de 1970 e 2014 (Fonte: INE, 2014).	28
Figura 4.1 - Imagens dos musseques da cidade de Benguela (Google Earth, 2017).	34
Figura 4.2 - Fluxograma da metodologia usada	39
Figura 4.3 - Bandas do espectro do visível do Landsat 5 e 8 (as bandas 2, 3 e 4 do Landsat 8, correspondem às bandas 1, 2 e 3 do Landsat 5).	42
Figura 4.4 - Diferentes combinações coloridas com bandas da Imagem Landsat 8 de 2014.	43
Figura 4.5 - Imagem segmentada (Fonseca, 2006).	45
Figura 4.6 - Estatísticas (como exemplo) da banda 1 da imagem Landsat 5 de 1994....	47
Figura 4.7 - Metodologia da classificação da imagem Landsat 5 de 1994.	48
Figura 4.8 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1 (a) e 2 (b) referentes ao ano de 1994.	49
Figura 4.9 - Comparação das assinaturas das classes (1994).	50
Figura 4.10 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1 (a) e 2 (b), referentes a 2004.	51
Figura 4.11 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1(a) e 2 (b), referentes a 2014.	51
Figura 4.12 - Média das assinaturas das classes (2004).	52
Figura 4.13 - Avaliação das assinaturas espectrais das classes (2014).	52
Figura 4.14 - Mudanças entre as diferentes classes (em <i>cell size</i>).	53
Figura 4.15 – Evolução do uso do solo urbano em Benguela (nível 2) ente 1994 e 2014.	54
Figura 4.16 - Mudanças entre as classes urbano e não urbano por área.	54
Figura 4.17 - Gráfico de tendência do crescimento urbano.	63
Figura 4.18 - Mapa de tendência de crescimento urbano.	64
Figura 4.19 - Variáveis usadas no modelo LCM para simulação.	67
Figura 4.20 - Potencial de transição da classe não urbano a urbano entre 1994 e 2004.	68
Figura 4.21 - Execução do potencial de transição.	71
Figura 4.22 - Simulação do uso e ocupação do solo para 2014.	74

Figura 4.23 - Módulo <i>validate</i>	74
Figura 4.24 - Validação da previsão usando o painel VALIDATION.....	76
Figura 4.25 - Previsão do uso do solo de Benguela em 2040.....	76
Figura 4.26 - Evolução da mancha urbana da cidade de Benguela.	79
Figura 4.27 - Variação da área.....	80
Figura 4.28 - Metodologia inversa da predição do crescimento urbano.	82
Figura 4.29 - Mapas do uso do solo de 1970 a 2014.	82

Índice de Tabelas

Tabela 2.1 -Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em detecção remota (Lillesand e Kiefer, 1994).....	10
Tabela 4.1 - Características dos dados Landsat 5 fonte: www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-Landsat5e7_PT.php	35
Tabela 4.2 - Características da imagem Landsat 8. Fonte : www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/landsat-8/	36
Tabela 4.3 - Dados e fontes	36
Tabela 4.4 - Matriz de confusão da imagem Landsat 5 de 1994.	56
Tabela 4.5 – Exatidão do consumidor e produtor.....	57
Tabela 4.6 - Qualidade da classificação associada a estatística Kappa (Landis e Koch, 1977).....	58
Tabela 4.7 - Matriz de confusão da classificação imagem Landsat 5 de 2004.....	59
Tabela 4.8 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 8 de 2014.....	59
Tabela 4.9 - Comparação dos valores achados com base ao matriz de confusão.....	61
Tabela 4.10 - Indicador da correlação das variáveis.	69
Tabela 4.11 - Probabilidade de transição.....	70
Tabela 4.12 - Evolução urbana entre 1994 e 2040 (km ²)	80

Capítulo 1 - Introdução

O processo de urbanização em países desenvolvidos, foi estimulado pela revolução industrial, decorreu entre os séculos XVIII e XIX, contribuiu para que o entendimento dos padrões de uso do solo e sua categorização, fosse importante e fundamental no apoio a tomada de decisão em projetos urbanísticos sustentáveis. Ao contrário dos países em desenvolvimento, onde a urbanização ocorreu de forma expressiva e rápida, a partir da década de 1950, influenciado pelas migrações e o êxodo rural, a maior parte desses países, possuem cidades com grande predominância de áreas periurbanas e musseques.

O rápido crescimento urbano, induziu novos paradigmas em função da dinâmica social, impõe grandes desafios no planeamento urbano das cidades, o impacto dos fluxos migratórios ora provocados pela guerra civil e o êxodo rural em Benguela, deu origem a novas aglomerações, os chamados musseques, impôs uma nova abordagem que suscita muitas discussões sobre a existência dos mesmos. O crescimento exponencial da população, registado no período de 1970 - 2014, supõe-se ter influenciado o crescimento das áreas periurbanas.

O estudo do crescimento urbano é fundamental, garante o entendimento das modificações decorrentes na paisagem, resultantes das crescentes procuras de espaço de acordo as necessidades da população, as dificuldades económicas e o crescimento populacional foram responsáveis pelas grandes diferenças no uso do solo em Benguela, resultou deste processo algumas condicionantes administrativas, a expansão das áreas construídas em termos de habitações formais, é relativamente pequena comparado com a estrutura informal, o desenvolvimento da paisagem ao nível da região foi espacialmente heterogêneo, com grande predominância de musseques.

A urbanização em Benguela ocorreu num contexto de graves problemas, é dessa forma que as áreas periurbanas e os musseques se desenvolveram num espaço de tempo relativamente curto, a escassez de fogos habitacionais, confluuiu para o aumento da procura, colocou uma certa pressão sobre o território em termos de construção, face a fragilidade dos programas de autoconstrução, introduzidos pelo governo, dificultou ainda mais a gestão do espaço e, desta forma, abriu-se maior brecha para ocupação ilegal, até de áreas presumíveis de elevado risco.

A expansão urbana esteve em dependência da carência da população, a necessidade de se obter melhores condições de vida, a casa própria, induziu uma certa intensidade

sobre o espaço urbano, face à ausência dos instrumentos de gestão territorial, comprometeu-se a possível continuidade das áreas urbanas ora existentes, resultou daí problemas nas infraestruturas e serviços, levando-nos a uma situação desagradável.

Torna-se difícil entender a dinâmica dos diferentes usos do solo nessas áreas, sobretudo quando se pretende fazer análise ao nível da classe (urbano, suburbano, equipamentos, rede viária, vegetação, áreas cultivadas etc.) comparando com outras realidades, isto pela heterogeneidade existente nas áreas construídas, é daí que o presente estudo de modelação e dinâmica de mancha urbana, foi aplicado para contribuir para o entendimento do problema de quantificação da expansão urbana.

Ainda na perspectiva da nossa abordagem, importa fazer referência da fragilidade dos planos e programas habitacionais, dos poucos concretizados, não possuem capacidade de satisfazer as necessidades da população ao nível regional, estão aquém dos objetivos dos municípios, o aumento demográfico, é uma outra questão que põe em desacordo a procura em relação a oferta, é desta forma que os musseques¹ ganharam vida, assumindo-se como a principal alternativa emergente para responder aos problemas relacionados com infraestruturas habitacionais.

Devido ao contexto histórico de evolução e ocupação urbana ocorrido em Benguela, surgiram vários problemas de gestão, urbanização e de planeamento, subjacente a isso, está a falta dos instrumentos de gestão territorial (Plano diretor municipal, Plano de Urbanização, Plano Pormenor) é desta forma que aumenta as dificuldades de se administrar o território, de modo a responder as necessidades adversas, no que tem a ver com a instalação de infraestruturas, equipamentos, serviços e acessibilidades.

Nota-se ao nível da administração pública, algumas dificuldades na elaboração de planos, para reestruturação urbana da cidade e, consequentemente a elaboração de mapas que se fundamentam na categorização do uso do solo de forma sistemática, para apoiar a planificação, de modo a facilitar resolução dos vários problemas. A categorização do uso do solo é de extrema importância, pelo facto de permitir demarcar às zonas propensas a urbanização, definir nelas as condicionantes físicas, com base a topografia do terreno e legais que possam existir de acordo a lei, de modo que se tenha conhecimento das zonas favoráveis para o crescimento urbano de forma organizado e planificado.

¹ Musseques são bairros que se desenvolvem ao arredor das cidades, criado por população com baixo poder económico (Amaral, 1968).

O crescimento dos musseques é um caso preocupante, para além de condicionar o funcionamento da cidade, põe em causa a mobilidade e prestação de serviços, principalmente de energia e água, chega ao ponto de comprometer as políticas e decisões. É importante que se tome medidas da situação e se adote outros mecanismos de modo a se contrariar essa tendência, para que se possa minimizar os elevados riscos, porém, os musseques continuam a crescer por todo lado, sobre áreas de proteção ambiental, áreas sujeitas a inundações, fundos de vales, viadutos, áreas de elevado declive e com alta suscetibilidade a riscos de deslizamento, desta forma, abre-se maior brecha para possíveis acidentes naturais pondo em risco a vida da população e a sustentabilidade local. Problemas dessa natureza têm causado muitos constrangimentos, na maior parte das vezes irreversíveis, podem afetar direta ou indiretamente a qualidade de vida da população (Santos *et al.*, 2008: p.108).

No nosso entendimento, pensamos na possibilidade de se reformular as políticas públicas sobre o urbanismo e habitação e por em prática os planos de gestão territorial de forma gradual, de modo a garantir maior regularidade na gestão, controlo da ocupação e uso do solo, induzindo uma perspectiva de vida voltada para segurança do cidadão e consequentemente a proteção da paisagem, para que se possa minimizar os problemas estruturais existentes, garantindo maior sustentabilidade local e melhoria da qualidade de vida da população no futuro.

1.1 Geotecnologias, geoprocessamento e uso e ocupação do solo

O desenvolvimento da ciência e tecnologia, permitiu que as ferramentas de análise geográfica se desenvolvessem de forma célere, fazendo com que a utilização dos sistemas de informação geográfica (SIG) para o geoprocessamento, fosse cada vez mais eficiente na construção de modelos automatizados e semi-automatizados. Desta forma, os desafios mais evidentes estão baseados no desenvolvimento de métodos e técnicas de análise e tratamento de dados espaciais, de modo a responder aos problemas, cuja a solução depende dos SIG, portanto é dessa forma que vários problemas são entendidos e resolvidos, a partir da inteligência artificial, algoritmos genéticos, sistemas periciais, análise de dados com incerteza, lógica difusa (*fuzzy*) e Redes Neurais Artificiais (RNA) entre outros.

O geoprocessamento pode ser entendido como uma tecnologia transdisciplinar, que através da intuitividade, da localização e do processamento de dados geográficos, integra

várias disciplinas, equipamentos, programas, processos, entidades, dados, metodologias e pessoas para recolha, tratamento, análise e apresentação da informação associada a mapas digitais georreferenciados (Rocha, 2002; citado em Lacerda, 2010: p.2).

Durante as últimas décadas, nas geotecnologias se desenvolveram ferramentas poderosas, destinadas para o tratamento de informação geográfica que na sua maioria serviram para aumentar a eficiência e eficácia nos trabalhos, auxiliando fortemente o planeamento, recolha, organização e análise de dados, com base no corrente processo de evolução. Os métodos de resolução de problemas foram diversificados, melhorados, tornando-os mais eficientes, com a finalidade de maximização da produtividade e a minimização de custos. A geotecnologia compõe-se de *hardware* e *software* o que constitui poderosas ferramentas para tomada de decisão (Roberto, 2005: p.81).

Há cada vez mais evidências de motivações para a implementação de estudos de evolução e mudanças nos padrões de uso e ocupação do solo, devido ao acelerado processo de transformação decorrente, na maior dos casos, influenciado por ações socioeconómicas e em outros casos, devido aos possíveis impactos ambientais naturais. Segundo Rocha *et al.* (2006: p.3) muitos fatores estão na base das alterações que ocorrem no uso e ocupação do solo, tais como; políticos, de gestão, económicos, culturais, do comportamento humano e ambientais, entre outros.

De acordo com o autor (*op. cit.*) “*A compreensão da forma como estes fatores se interligam e como influenciam a ocorrência de alterações no uso do solo, afigura-se como crítica na medida em que este processo de índole antropogénica pode conduzir a um vasto leque de impactos ambientais, como a alteração de ciclos hidrológicos, dimensão e organização dos habitats naturais e da diversidade das espécies*”.

Esses aspetos produzem efeitos nas alterações no uso e ocupação do solo, não somente nas questões ambientais, como também podem até certo ponto, afetar as economias locais e regionais ao nível das cidades.

A intensidade e as formas de ocupação do solo que decorreram em Benguela, são desconhecidas, devido à inexistência de estudos do ponto de vista da modelação do crescimento urbano, é nesta perspetiva que para o entendimento do problema, uma das formas viável de avaliar o crescimento urbano, é com base em modelação feita com recurso em imagens de detecção remota, num processo baseado em classificação de imagem, porque permite que a partir de duas ou mais imagens de datas diferentes, sejamos capazes de caracterizar as possíveis diferenças em termos de uso do solo.

Para o efeito, recorreremos a imagens de DR, pelo facto de permitir seleccionar intervalos temporais superiores a 10 anos respetivamente, de forma a extrair informação sobre o passado histórico e presente das formas de ocupação (mancha urbana) em cada época, de forma a conhecer, compreender e caracterizar as mudanças entretanto ocorridas. Os resultados permitem observar as várias categorias e quantificar as transformações ocorridas para um determinado espaço de tempo, podendo explicitar por intermédio de modelos preditivos de simulação de crescimento urbano, numa escala temporal superior a dez (10) anos.

De acordo com Fonseca e Matias (2009: p.136) a utilização de imagens de detecção remota em estudos geográficos, torna-se cada vez mais relevante, num momento histórico marcado pelo acentuado dinamismo das transformações socio-espaciais e pela exigência de se compreender e interpretar as diversas escalas dos fenómenos que se materializam no território.

Os modelos preditivos baseados em autómatos celulares (AC) são importantes, pelo facto de garantirem a possibilidade de antever, possíveis alterações decorrentes na paisagem, em função da construção de modelos de simulação baseados em inteligência artificial, por meio deles podemos entender a dinâmica espacial, pelo facto de terem a capacidade de produzir resultados interessantes, do ponto de vista de crescimento urbano para diversas escalas temporais.

Os autómatos celulares são usados em muitas ocasiões, pelo facto de terem a capacidade de processar informações de forma lógica. São uma abstração útil no comportamento dos objetos por diversas razões, mas principalmente por serem eficientes na apresentação de suas propriedades tais como atributos, comportamentos, relacionamentos, ambientes e tempo (Rocha, 2011: p.27).

1.2 Objetivo e motivação

O aumento substancial da procura de espaços, o crescimento demográfico, o aumento das áreas periurbanas, os musseques e a falta de estudos do ponto de vista de modelação urbana em Benguela, são pressupostos que estão da base da motivação da elaboração do presente trabalho.

Ao conhecer a evolução demográfica da cidade, pressupõe-se que seja proporcional ao crescimento urbano, dada à necessidade de se comprovar, de modo que tenhamos o conhecimento das possíveis alterações ocorridas em termos de uso e ocupação do solo ao

nível da região e, ao longo do tempo em análise, propusemo-nos definir os seguintes objetivos:

1. Modelar o crescimento urbano da cidade de Benguela, nos anos de 1994, 2004 e 2014, com recurso em imagens de detecção remota, nomeadamente imagens do Landsat 5 e 8, derivar mapas de uso e ocupação do solo nos respetivos períodos, quantificar as alterações ocorridas e comparar os resultados.
2. Com base em autómatos celulares, usar os mapas que representam os usos do solo urbano nos diferentes períodos, para construção de uns modelos preditivos de simulação do crescimento urbano para 1970, 2014 e 2040².

Desta forma, justifica-se a importância da implementação do exercício, pelo facto de poder vir a dar uma ideia sobre as possíveis alterações (mancha urbana) nos respetivos períodos e, conhecer as tendências para evolução da mancha urbana em 2040.

Por outro lado, presume-se que os resultados do exercício, até certa medida, podem contribuir significativamente para auxiliar à tomada de decisão para gestão e distribuição do espaço no futuro, consequentemente viria despertar a motivação para possíveis iniciativas de outros estudos, que viriam a ser desenvolvidos no sentido de melhorar a compreensão da modelação de crescimento urbano, introduzindo outras variáveis, que possam ser úteis para o respetivo estudo.

1.3 Estrutura da dissertação

O trabalho está estruturado em cinco capítulos, um capítulo introdutório em que se descreve os objetivos e a motivação para a realização da dissertação, no capítulo seguinte, abordam-se questões relacionadas com a detecção remota e modelação urbana, modelos de crescimento urbano e autómatos celulares.

No terceiro capítulo, faz-se enquadramento jurídico para o ordenamento do território em Angola, localização e caracterização da área em estudo, *i.e.*, geomorfologia, suporte físico do solo, serviços, espaços de lazer, espaços verdes, evolução demográfica da população e infraestruturas rodoviárias.

² A definição do limite de simulação datado em 2040, está acordo aos indicadores económicos e as políticas de urbanização apresentadas no programa nacional de desenvolvimento (PND 2013 – 2017).

No quarto capítulo, faz-se uma abordagem sobre a modelação do crescimento urbano, caracterização dos dados, metodologia e o pré-processamento da informação, classificação das imagens de satélite e derivação dos mapas de uso e ocupação do solo em diferentes períodos (1994, 2004 e 2014) e, por último, faz-se a simulação do crescimento urbano para os períodos de 1970, 2014 e 2040, termina-se com análise dos resultados.

No quinto capítulo fez-se as conclusões, apresenta-se as considerações finais sobre o trabalho, bem como as limitações e, por último, faz-se algumas recomendações para trabalhos futuros.

Capítulo 2 - Modelos e técnicas

2.1 - Detecção remota e modelação urbana

A detecção remota (DR) é a ciência que aborda os métodos de observação da Terra por sensores instalados em satélites artificiais ou aviões (Fonseca, 2004). Também se pode considerar que se baseia na aquisição de informação captada por sensores que registam a energia eletromagnética emitida ou refletida por objetos da superfície física da terra e transmitida aos sensores em forma de ondas eletromagnéticas.

Na base do conjunto de técnicas que possibilitam a obtenção de informações sobre os materiais na superfície terrestre, através do registo da interação da radiação eletromagnética com a superfície, a detecção remota, tornou-se importante para produção de cartografia temática, nomeadamente a cartografia referente ao uso e ocupação do solo.

O surgimento das velhas teorias dos três sistemas: teoria do sistema geral, teoria da informação e teoria da cibernética e, as técnicas da computação na década de 1940, estimularam a primeira revolução da modelação que se baseava em equações lineares estruturais, mas não era espacialmente explícita. Segundo Jitendrudu (2005: p.39) alguns paradigmas famosos incluem o modelo de desenvolvimento urbano de Lowry (1964), o modelo de interação espacial Wilson (1970) e o modelo de insumo-produto de Leontief (1970).

Segundo Vanderlei (2015) o modelo de Lowry foi o primeiro a propor de forma mais efetiva a relação entre a distribuição espacial das atividades e a deslocação de pessoas, com os respetivos efeitos sobre os transportes a verificarem-se através das variações de acessibilidade.

O grande desenvolvimento da detecção remota, ciência da informação e as teorias de sistemas, especialmente a complexidade em desenvolvimento e as teorias não-lineares, instigaram uma nova onda de modelação que pode ser vista em três formas:

1. Primeiro, a teoria da complexidade trouxe formas de re-compreender os sistemas ou fenómenos em estudo. É evidente a existência de um ressurgimento recente do interesse em questões de complexidade, na medida que novas teorias e métodos se têm multiplicado nas últimas décadas (Wu e David, 2002).
2. Em segundo lugar, os novos métodos matemáticos criaram novos meios para representar e quantificar a complexidade.

3. Terceiro lugar, a detecção remota e os sistemas de informação geográfica garantiram e garantem a disponibilidade de dados em várias escalas espaciais e temporais (Jitendrudu, 2005: p.39).

O uso da detecção remota em estudos de modelação urbana, garante maior confiança nos resultados quando os dados são de alta resolução espacial. As técnicas de DR, possuem capacidade de aquisição de informação refletida pela superfície terrestre a vários comprimentos de onda (Tabela 2.1), que por sua vez, favorece a componente espacial.

Tabela 2.1 -Zonas do espectro eletromagnético utilizadas em detecção remota (Lillesand e Kiefer, 1994).

Bandas	Zona do espectro	Intervalo de comprimento de onda (µm)
1	Azul	0,45 - 0,52
2	Verde	0,52 - 0,60
3	Vermelho	0,63 - 0,69
4	Infravermelho Próximo	0,76 - 0,90
5	Infravermelho Médio	1,55 - 1,75
7	Infravermelho Médio	2,08 - 2,35
6	Infravermelho térmico	10,40 - 12,50

A resolução espacial refere-se à área do terreno observada por um radiómetro em cada instante. A distância entre o alvo e o sensor, tem um papel importante na determinação no detalhe da informação obtida (Sousa e Silva, 2011: p.21).

O homem por experiência própria, adquirida ao longo dos anos, utiliza a luz visível refletida pelos objetos geográficos e captada pelos olhos para diferenciar e caracterizar os vários tipos de objetos na superfície da Terra. A sistematização dos detetores utilizados em DR, podem realizar-se em função das suas diferentes características tais como; o modo de operação, características espectrais e outras, etc. (Fonseca e Fernandes, 2004: p.40).

O espectro eletromagnético (Figura 2.1) corresponde à distribuição da intensidade da radiação eletromagnética em todo o seu intervalo, relativamente ao comprimento de onda. A faixa ‘visível’ do espectro pode ser associada às três cores primárias do visível nomeadamente azul, verde e vermelho (RGB) a partir das quais se podem formar todas as outras cores combinando as três em várias proporções (Aggarwal, 2003: p.29).

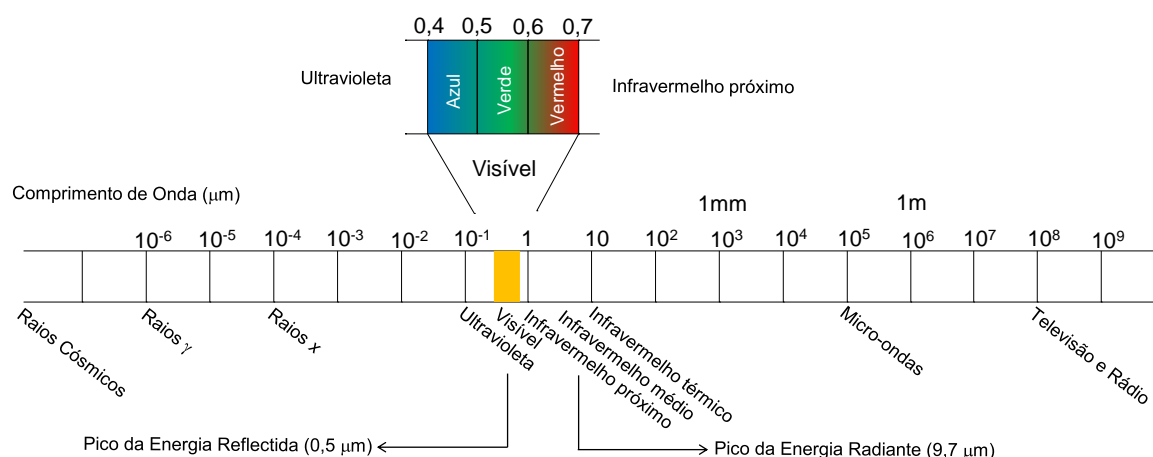


Figura 2.1 - O espectro eletromagnético (Lillesand e Kiefer, 1994).

A refletância dos objetos no solo, vai além do espectro visível, pois o seu comportamento espectral, deriva não somente da cor, como também da composição, arranjo dos constituintes minerais, orgânicos e fluídos. A utilização eficiente da informação recolhida por DR, exige o conhecimento das características espectrais dos diferentes tipos de coberto da superfície terrestre, assim como dos fatores que as condicionam (Fonseca e Fernandes, 2004: p.18).

Os elementos constituintes da superfície da terra (Figura 2.2) comportam-se de forma diferente uns dos outros na emissão de informação, desta forma, é importante conhecer o seu comportamento para melhor os estudar.

O comportamento espectral da vegetação, altera consoante o seu tipo, a estação do ano e a zona geográfica em análise, desta forma, em função de todas as condicionantes pode apresentar uma grande variação de comportamento (Fonseca, 2004). Na banda do visível, a maior parte da radiação incidente é absorvida por pigmentos de clorofila, nos comprimentos de onda próximos de $0,45 \mu\text{m}$ e também entre $0,65 \mu\text{m}$, no infravermelho próximo a refletância é maior, pelo facto de a vegetação absorver pouca radiação nessa banda, volta a absorver fortemente a radiação nos comprimentos de onda de $1,4 \mu\text{m}$, $1,9 \mu\text{m}$ e $2,7 \mu\text{m}$. A transmissão de energia é muito reduzida, sendo refletida quase toda a energia incidente não absorvida, essencialmente no comprimento de onda correspondente ao verde.

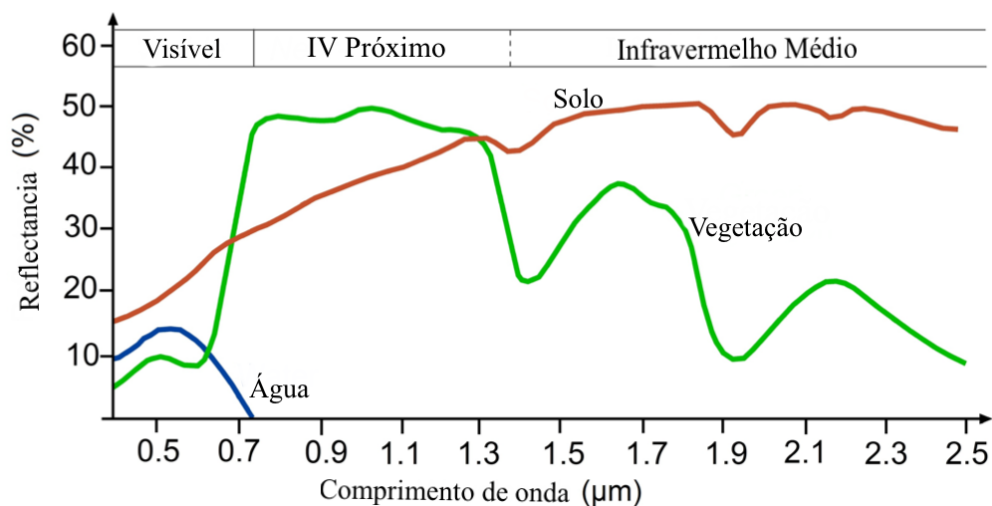


Figura 2.2 - Curvas de refletividade do solo, água e vegetação (Aggarwal, 2003).

A curva espectral dos solos, caracteriza-se por uma refletância relativamente baixa na região do visível, aumenta gradualmente com o incremento do comprimento de onda das radiações. Este comportamento é influenciado pela mineralogia, teor em matéria orgânica, teor em humidade, dimensão das partículas constituintes e rugosidade da superfície (Fonseca, 2004). Um elemento fundamental no padrão de ocorrência espacial dos solos, é a presença destes na superfície terrestre, de modo que os solos exercem quase sempre alguma influência sobre as propriedades de refletância da superfície.

Os comprimentos de onda mais curtos da região do visível, são reflectidos em maior quantidade comparativamente com os restantes, facto que concede à água a cor azul ou esverdeada, para os comprimentos de onda maiores do visível e do infravermelho próximo, há uma maior absorção, sendo praticamente nula à refletividade a partir do infravermelho próximo (Fonseca, 2004).

Para os comprimentos de onda no vermelho ou infravermelho, a água surgirá com a cor negra, um fator muito importante na definição das várias tonalidades com que a água pode aparecer quando observada por meios de detecção remota, a existência de sedimentos nas camadas superiores da água, no que diz respeito às partículas ou sedimentos, contribuem para uma refletividade mais elevada e para uma aparência mais luminosa.

Durante muitos anos, as técnicas de detecção remota em escalas espaciais amplas, em conjunto com mapas sequenciais, têm sido usadas para modelar e monitorar as mudanças da cobertura da terra. De acordo com Cihlar (2000) e Foody (2002) a detecção remota, oferece possibilidades de expandir as informações sobre os atributos dos solos,

voltados para o levantamento, em que os dados derivados desta técnica garante a aquisição de informação sobre o uso do solo.

Esta questão, torna-se relevante devido a importância das alterações de uso do solo, em relação as alterações ambientais e, como também da necessidade de se apoiar a gestão e as políticas ambientais. Desta forma, concluímos que a detecção remota, tornou-se numa importante ferramenta para análise espacial do uso e coberto do solo em múltiplas escalas, favorece a possibilidade de se fazer análise comparativa das possíveis alterações na paisagem em diferentes momentos, permite quantificar e qualificar a paisagem, dá suporte significativo na tomada de decisão nos mais diversos problemas em que esta técnica pode ser útil.

2.2 - Modelos para representação de alterações do uso do solo

Com a evolução da geocomputação ao nível dos SIG, surgiram várias técnicas de análise e processamento de dados, fundamentadas em modelos dinâmicos, formulados para representarem alterações ao longo do tempo, é desta forma que vários problemas são resolvidos, com especificidade aqueles ligados a mudanças de uso do solo, que pela sua natureza, podem ser explicados com base aos modelos de simulação, esses modelos garantem maior possibilidade de fazer compreender a dinâmica entre os diversos elementos do espaço em diversas escalas temporais.

Existem vários modelos que são frequentemente utilizados em estudos preditivos, baseados em modelos de extrapolação linear, autómatos celulares, redes neuronais e outros, a escolha de cada modelo para determinado estudo, está em conformidade com a natureza dos dados a serem utilizados e a influência ou limitações que possam existir.

Tendo em atenção aos aspetos metodológicos e funcionais, os modelos podem ser classificados em estatísticos ou econométricos; modelos de interação espacial; modelos de otimização que incluem programação linear, dinâmica hierárquica e não-linear, assim como modelos de maximização de utilidades e modelos multicritérios de tomada de decisão; modelos integrados; modelos de gravidade, de simulação; modelos baseados em ciências naturais; modelos baseados em SIG e modelos baseados na cadeia de *markov* (Briassoulis, 2000: p.37).

Os modelos de nova geração, chamados de modelos de complexidade ou modelos de geosimulação, tentam modelar padrões macro começando com as entidades mais

pequenas ou os átomos do sistema, geralmente começam a modelar a dinâmica ao nível micro, o que é conhecido como abordagem de baixo para cima em oposição a uma abordagem de cima para baixo (Batty, 2005: p.156).

A geosimulação é diferente da simulação urbana convencional nos seus elementos constituintes, os modelos de geosimulação operam com indivíduos humanos e entidades de infraestruturas representadas em escalas espacialmente não modificáveis como famílias, casas ou veículos. Nos modelos de geosimulação, estes objetos possuem um comportamento, assim sendo muitos desses são animados, visualmente e dinamicamente, essa animação impulsiona o comportamento de objetos inanimados numa simulação (Rocha, 2011: p.23).

Os novos modelos de crescimento urbano, são frequentemente baseados em autómatos celulares, nos quais o crescimento urbano é baseado em regras de transição local, derivado de dados de séries temporais geográficas (Batty, 2005 citado em Veerbeek *et al.*, 2010: p.2).

Os AC têm sido considerados como o mais adequado meio para estudos de processos dinâmicos, onde o ambiente imediato tem uma influência sobre a célula, tais como nos processos de difusão, isso inclui processos de dinâmica ecológica.

Uma abordagem baseada em agentes, é melhor para explicar detalhadamente o que acontece com uma célula, bem como a interação humana e ação-à-distância, influências com origem longe fora da vizinhança nos AC.

No campo da modelação urbana, existem vários exemplos em que são utilizadas combinações das duas abordagens, no entanto uma combinação pode ser capaz de compensar as limitações de outra abordagem (Lahti, 2008: p.22).

2.2.1 - Autómatos Celulares

Os autómatos celulares podem ser entendidos como uma abordagem baseada em células, para modelação de processos dinâmicos e gravíticos ao nível micro (Batty, 2005: p.27).

Os AC são eficientes para modelação urbana, também têm sido aplicados para modelar o desmatamento (Menard e Marceau, 2007: p.253) e incêndios florestais (Karafyllidis e Thanailakis, 1997: p.87).

A principal atração do método é a demonstração de comportamentos complexos de simples regras, isso se encaixa bem com o funcionamento de sistemas complexos, onde

a emergência, complexidade da simplicidade é uma das características, portanto pode simular qualquer sistema físico (Silva, 2005: p.23).

Os componentes essenciais de um AC, estão formados por uma superfície “2-D” matricial, constituída por células, por exemplo (1 e 0) uma vizinhança dentro da qual as regras de transição podem ser aplicadas a um espaço temporal.

O AC mais simples, consiste em um espaço de célula unidimensional, a alteração no estado da célula a partir do tempo 1 para 2, depende das regras de transição formulada e das células vizinhas.

Por exemplo, pode-se definir uma regra que determina a transição do estado 0 para o estado 1 como uma ou mais células vizinhas requeridas com o estado 1. As regras de transição podem ser formuladas tão complexas quanto desejadas, mas para simulação realista elas devem fundamentar-se na realidade do fenómeno (Silva, 2005: p.23).

2.2.2 - Autômatos celulares e modelação urbana

Os autômatos celulares são um sistema de autômatos finitos espacialmente localizados e interligados, portanto podemos considerá-los um arranjo de autômatos individuais nalgum espaço organizado de forma regular (Rocha, 2011: p.28).

Segundo Wu e Webster (2000: p.63) considera que os modelos AC, são vistos em dois grupos gerais, em que um grupo tem uma perspectiva no âmbito teórico, enquanto outro grupo, está voltado para os padrões urbanos reais, onde pertence os modelos de tomada de decisão.

Os modelos para tomada de decisão, são geralmente chamados de constrangidos (Engelen *et al.*, 1997) além da vizinhança dos AC, por exemplo, declives elevados são menos atraentes para o desenvolvimento, enquanto uma boa acessibilidade é desejada, um efeito indeterminado (estocástico) aleatório é frequentemente adicionado para simular decisões imprevisíveis, o que faz parte das regras de transição (Barredo *et al.*, 2002).

Os modelos de AC urbanos, têm melhor desempenho que os modelos tradicionais na simulação do crescimento urbano, principalmente devido ao facto de serem bastante mais simples que as complexas equações matemáticas que suportam esses modelos. No entanto, os seus resultados têm provado ser mais úteis e significativos quando observados numa perspectiva intuitiva (Rocha *et al.*, 2011).

A interação de vizinhança, é um fator determinante na possibilidade de um píxel A mudar para o estado B, ou vice-versa, neste caso, à adequação poderia ser vista como uma

quarta dimensão, isto é calculado no modelo AC, a influência do uso do solo em termos de mudanças, depende de como se define as funções de vizinhança.

Um modelo de AC urbano, geralmente inclui elementos do nível macro e o nível micro (White e Engelen, 1997: p.240). Assim, a quantidade de uso do solo distribuída durante cada período de tempo, pode ser limitada de acordo com a possibilidade de uma célula vizinha mudar de um estado para outro e vice-versa, calcula-se de acordo a sua aptidão, começando com as células mais adequadas, o modelo distribui todas às células necessárias para um determinado espaço de tempo.

Os modelos são vistos como a simplificação da realidade e os AC não são exceção, isto significa que algumas suposições devem ser feitas em relação aos seus parâmetros, tais como o tamanho da célula, regras de transição, resolução temporal etc. Para assegurar uma representação mais aproximada a realidade (Batty, 2003: p.37).

Os modelos de AC são muito atrativos para simulação em ambiente urbano, porque permitem gerar resultados bastante interessantes (Xia e Yeh, 2002: p.325).

2.2.3 - Regras de transição dos Autômatos Celulares

As regras de transição em modelos AC, vão consistir na configuração dos padrões das variáveis, para imitarem um determinado fenómeno, estas regras, podem ser definidas arbitrariamente, mas ao aplicar um AC num contexto urbano, é importante que as regras de transição sejam impostas de modo que a sua representação seja fundamentada na realidade (Lahti, 2008: p.12).

Analisando os fatores mencionados sistematicamente, há três componentes que podem ser identificados nas regras de transição de um autômato celular, tais como adequação, interação espacial e aleatoriedade (Barredo *et al.*, 2002).

Existem várias abordagens principais para a extração dessas regras, uma é baseada em conhecimento e outra em *data-driven* (dados dirigidos) os métodos baseados em dados dirigidos, fazem parte dos métodos estatísticos. A parte fundamental para adequar o AC à realidade, é conseguir uma melhor conexão entre as regras de transição e a realidade (Torrens e O'Sullivan, 2001: p.163).

O uso de métodos baseados em dados dirigidos, a sua aplicação, permite que se obtenha um ótimo resultado, embora os parâmetros não são representativos da realidade, portanto os métodos baseados em dados dirigidos, são acessíveis e os dados são quantificados enquanto extraídos.

Há um problema que reside na forma de definição das regras de transição e da estrutura do modelo, estas são normalmente dependentes da aplicação em causa, pois, muito embora existam diversos modelos de AC, eles apresentam formas substancialmente diferentes (Wu, 1998; Batty *et al.*, 1999 citado em Secuma, 2012: p.20).

Os parâmetros a serem definidos, de certa forma, influenciam as regras de transição nos mais diversos modelos de AC, são várias as descrições fundamentadas sobre a influência dessas regras, muitos autores em suas obras, de acordo com Secuma (2012, p.19), Wu e Webster (2000) definiram as regras de transição com base em métodos de análise multicritério, enquanto White e Engelen (1993) utilizaram para o mesmo efeito uma matriz de parâmetros predefinidos.

As regras de transição podem muitas vezes ser expressas usando instruções condicionais do tipo se, então, caso contrário, (*if-then-else*) ou de qualquer outra forma que tenha base em dependências de análises contínuas (Rocha, 2011: p.33).

Li e Yeh (2000) propuseram um modelo baseado numa matriz imagem em tons de cinzento, para acomodar o processo gradual de conversão para urbano. Já Batty e Xie (1994) utilizaram a concentração num espaço de vizinhança e uma função decrescente de distância relativamente aos centros de crescimento, para determinar as probabilidades de transição, estes modelos também podem incluir constrangimentos para gerar formas urbanas idealizadas.

2.2.4 - Resolução espacial

No processo de construção dos mais diversos modelos, uma das preocupações fundamenta-se no conhecimento do tamanho da célula, que por sua vez, constitui uma preocupação para muitos, nos trabalhos onde é frequente o uso de dados matricial, independentemente da área a ser estudada, o tamanho de uma célula deve representar a menor entidade significativa possível, de maneira a permitir que a modelação seja feita na íntegra. Desta forma, Wang *et al.*, (2012) propõem um tamanho de célula relativamente pequena, pelo facto de produzir melhores resultados, embora leve uma quantidade substancial de tempo para executar o modelo.

Existem alguns exemplos de modelação com estados de células contínuas, por exemplo, com aplicação na densidade de uso do solo (Li e Yeh, 2000: p.131). Nestes modelos, cada célula pode ter um valor (A ou B) que depende dos valores circundantes (densidade) estes modelos utilizam apenas um tipo de uso da terra (urbano).

2.2.5 - Resolução temporal

Huberman e Glance (1993: p.77) defendem que normalmente no processamento dos AC, as células são atualizadas de forma sincronizada, de acordo com um espaço de tempo pré-definido, a medida que o tempo passa, um certo número de células muda.

Desta forma, ao aplicar os AC em sistemas naturais, as decisões são tomadas em uma escala contínua, a decisão pode afetar a vizinhança, durante um intervalo de tempo menor do que o tempo usual no processo (Silva, 2005).

Para contornar este problema, sugere-se que se tenha em consideração um espaço de tempo significativo, de modo a permitir a possível mudança de uma célula de um estado para outro (Huberman e Glance, 1993).

2.2.6 - Calibração e validação

Os modelos AC na sua maioria, para o seu processamento, muitos deles exigem um conjunto de parâmetros a serem definidos, de modo que os resultados a obter, sejam na maior parte traduzidos em função de cada realidade.

Segundo Almeida (2000, p.32) defende que os métodos baseados em dados para calibração, são os mais bem-sucedidos na previsão de padrões urbanos para várias escalas temporais.

Já para os modelos baseados em redes, Li e Yeh (2002, p.323) defendem que esses modelos na sua maioria, os métodos de calibração são automáticos, portanto são pouco utilizados para análise de padrões de uso do solo, pelo facto de terem os parâmetros de calibração ocultos, o que não permitem experimentos.

Desta forma, podemos afirmar que os modelos baseados em redes podem para alguns casos, ter alguma limitação, o problema com os métodos de calibração pode até certo ponto condicionar os resultados, dificultar a explicação dos processos reais de mudança do uso do solo, Almeida (2003).

2.2.7 - Fraquezas dos autómatos celulares na modelação urbana

O emprego dos autómatos celulares para modelação urbana, também tem as suas fraquezas, o que está relacionada principalmente, com a possibilidade de poder afetar o

realismo nos modelos urbanos e, não explicitar as alterações que são aplicadas pelos decisores políticos.

Portanto a utilização dos AC para criação de modelos simulados, têm sido mais bem-sucedidos em imitar dinâmica urbana, enquanto que para processos em que as decisões humanas estão envolvidas têm tido menos eficácia (Parker *et al.*, 2003: p.314).

Um outro problema nos modelos de AC, pode estar relacionado com atribuição das ponderações (importância que é atribuída a cada variável) no processo de simulação do crescimento urbano, torna-se mais complexo, na medida em que for necessário um número elevado de variáveis, sobre tudo quando se trata de variáveis qualitativas, tornando os modelos mais complexos.

Por outro lado, quando se lida com informação relativa aos diversos usos do solo a nível da paisagem, o número de fatores de ponderação aumenta consideravelmente e, os modelos tornam-se mais complexos, assim, elevam-se os parâmetros que precisarão ser determinados para que uma simulação reflita um sistema urbano (Batty *et al.*, 1999: p.205).

Normalmente na construção dos modelos de simulação, quando existir a necessidade de empregar múltiplos usos do solo, implica a utilização de muitas variáveis espaciais, de modo que a contribuição de cada uma das variáveis, seja quantificada pela importância (peso) que lhe está atribuída, mas não é o caso deste exercício.

O valor destes parâmetros tem um grande peso (efeito) nos resultados da simulação, verifica-se que diferentes combinações de valores conduzem a formas urbanas totalmente diferentes (Batty *et. al.*, 1999).

Capítulo 3 - Enquadramento geográfico-institucional

3.1 - Enquadramento jurídico para o ordenamento do território

O ordenamento do território angolano (OT) é regido pela Lei nº. 3/04, define o crescimento das cidades, sobretudo depois da independência nacional datada em 1975, levando em consideração os graves problemas existentes no O/T, devido principalmente a guerra civil e o êxodo rural.

Os instrumentos de gestão do território angolano, de acordo a lei, estão definidos em planos nacionais, planos provinciais e planos municipais. Os planos municipais do O/T, são em função da sua abrangência (área do município) classificados em globais ou parciais. Os planos parciais, classificam-se em planos de urbanização e planos de ordenamento rural, enquanto que os planos globais cobrem a área total do município, onde se enquadra o Plano Diretor Municipal (PDM). Entretanto existe inúmeros planos, nomeadamente os planos urbanísticos, planos de ordenamento rural, planos de ordenamento ambiental e os planos de ordenamento de áreas de defesa e segurança.

Fazem parte dos planos urbanísticos os PDM, Plano de Urbanização (PU), Plano Pormenor (PP) e o Plano Especial de Recuperação (PER).

Em Angola a terra constitui propriedade originária do estado, segundo a lei nº 9/04. A respetiva lei, designa que nos aglomerados urbanos, basicamente as zonas dotadas de infraestruturas urbanísticas, tais como redes de abastecimento de água, eletricidade e saneamento básico, devem ser expandidas por meio de planos urbanísticos, em caso de não existirem, devem apoiar-se em instrumentos de gestão urbanísticas com aprovação das autoridades competentes.

A lei de terras diz que *“o estado deve concomitantemente, administrar a cedência de espaços de formas a ter um controlo progressivo na organização e crescimento da malha urbana da cidade, para melhor distribuição de bens e serviços, proteção ambiental, e qualidade de vida”*.

3.2 - Localização da área em estudo

Benguela é uma das dezoito (18) províncias de Angola, cuja sua capital é Benguela, ocupa uma área de 2.100 km², tem cerca de 513.441 habitantes em 2014, o município está

limitado a norte com o município do Lobito, a leste com os municípios de Bocoio e Caimbambo, a sul com o município de Baía-Farta e a oeste com o Oceano Atlântico.

Administrativamente divide-se em seis zonas, nomeadamente as zonas A, B, C, D, E e F. Etnograficamente a população é na maioria da etnia Ovimbundu e Nganguela, regionalmente a língua mais falada é o umbundo, agricultura de subsistência, pesca e a pecuária, são umas das principais atividades dos munícipes.

Em termos de divisão zonal, é importante referir que as mesmas não possuem qualquer representação espacial, foram definidas sem ter em conta aos pressupostos cartográficos, isso é, a sua existência fundamenta-se questões teóricas.

A escassez de informação geográfica para representação da divisão administrativa ao detalhe (Figura 3.1) presume-se que é devido a falta de meios e técnicos ao nível das instituições que são responsáveis em produção de informação, por exemplo a cidade tem uma filial do instituto de geografia e cartografia de Angola (IGCA) pela sua estrutura, presume-se que ainda não é autossuficiente equipada para fins de produção de informação geográfica, mas garantem estar em curso alguns projetos de reestruturação que visam potenciar a instituição de forma a torná-la capaz de dar início ao mapeamento para fins de produção cartográfica, ao nível regional e a várias escalas e com maior interesse a escala de 1:50.000.

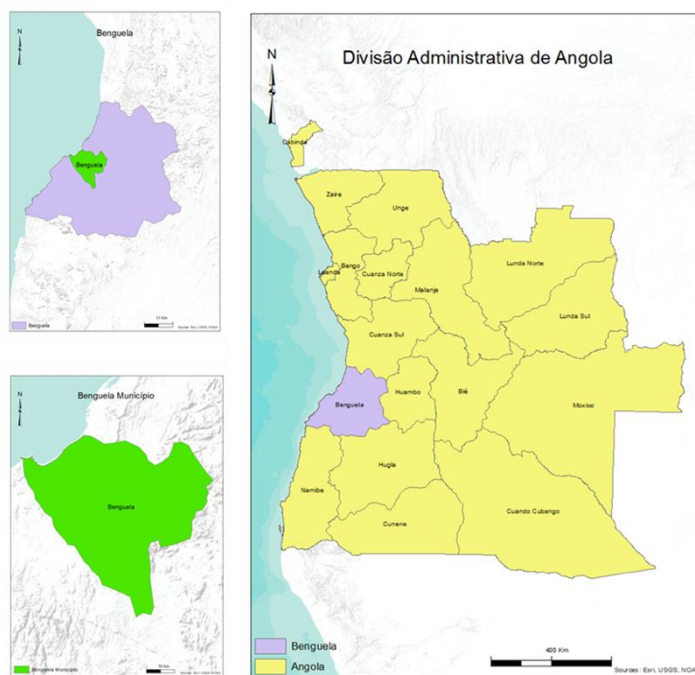


Figura 3.1 -Enquadramento da área em estudo.

Em termos de fauna, a região é rica em várias espécies animais tais como Zebras, Leões, Elefantes, Olongos, Golungos, Búfalos, Onças, Ongivas e a Cabra de leque, A flora é maioritariamente constituída por diversas espécies, na maior parte arbustivas e subespécies de acácias e espinheiras típicas da região litoral.

3.2.1 - Indicadores socioeconómicos

As condições de vida da maior parte da população do município, assemelha-se ao nível dos populares de outras cidades do país, portanto a população é maioritariamente de baixa renda, grande parte é oriunda das zonas rurais, migraram para a cidade em busca de melhores condições de vida e proteção acima de tudo, devido aos efeitos da guerra civil, cuja as consequências, ainda são sentidas até aos dias atuais, deste modo, maior parte da população vive em condições precárias e sofrem com efeitos da pobreza, paralelamente a isso, vivem com falta de água, luz elétrica e serviços.

Alguns programas foram executados nas áreas de saúde, educação e infra-estruturas, com perspectiva de melhorar as condições de vida dos habitantes do município, entre os programas, alguns contaram com apoio técnico e financeiro internacional, mas que ainda não são suficientes para suavizar os elevados problemas, nos últimos anos, a província transformou-se em um pequeno canteiro de obras, onde a construção e reconstrução de infraestruturas habitacionais, estradas, escolas, hospitais, redes de abastecimento de água e energia elétrica anda aos paços lentos.

No âmbito da agricultura de subsistência, o município conta com a produção de banana e hortícolas em média escala, na pecuária faz-se a produção de animais na base do gado suíno e bovino, também em pequena escala, no campo da indústria, o município conta com indústria de material de construção e têxtil. A pesca é uma atividade que também tem contribuído significativamente para a economia regional.

A entrada em funcionamento do caminho-de-ferro de Benguela (CFB) aumentou a dinâmica do município, trouxe melhorias em termos de mobilidade, por outro lado, a construção do aeroporto internacional da Catumbela, é outro investimento que também contribuiu para dinamizar a cidade, são investimentos que segundo o Governo Provincial,

contribuíram para existência de mais abertura no sector do emprego, gerando mais postos de trabalho diretos e indiretos para os munícipes³.

3.2.2 - *Qualidade de vida*

Tendo em consideração os problemas causados pela guerra civil, podemos afirmar que existe um certo padrão em termos de qualidade de vida, independentemente do ponto de vista pessoal, ao avaliar a qualidade de vida, existem padrões aceites universalmente que qualificam o bem-estar, tendo em conta as várias dimensões do desenvolvimento social e humano.

Algumas infraestruturas têm sido construídas e outras reconstruídas, a fim de melhorar os serviços, principalmente no âmbito da saúde, educação, saneamento básico, disponibilidade de água potável, energia elétrica, transportes e, outras questões, tais como emprego e habitação, ainda é um problema que carece da intervenção dos órgãos de direito para uma solução imediata.

Desta forma, pensamos que para que haja melhoria que venham proporcionar melhor qualidade de vida para a população local, parece-nos que é importante que os objetivos de desenvolvimento e as políticas públicas sejam revistas com finalidade da busca de padrões que se fundamentam na garantia da sustentabilidade territorial, para que se possa garantir que os investimentos a nível dos recursos humanos, sejam consistentes de modo a afiançar qualidade aos técnicos, torná-los capazes de responder aos mais diversos desafios ao nível regional.

3.3 - Carácter do suporte físico do solo

As características da cidade, sobretudo da área construída depois do período colonial, apresentam-se com grandes problemas, resultado da ocupação em diversos momentos, que marcaram a história urbana da cidade. A estrutura da cidade, é constituída principalmente por vivendas e prédios com média de cinco (5) andares, voltados para o

³ Fonte: Programa Provincial de Desenvolvimento Económico e Social (2009-2013).

exterior formando quarteirões, os arredores estão pequenas áreas verdes, áreas industriais e alguns baldios.

A partir dos anos 1970, os bairros centrais começaram a encher-se de população vinda de outros pontos do país, em busca de abrigo e melhores condições de vida, a fragilidade dos transportes, dificultava a possibilidade da extensão geográfica da cidade, no entanto, os indivíduos que se faziam chegar à cidade vindos das zonas rurais, eram obrigados à instalarem-se junto das estruturas já existentes, desta forma, deu-se início de um novo modelo de construção, facto que alterou completamente a estrutura da cidade até aos dias atuais.

A nova imagem da construção (Figura 3.2) representa os bairros emergentes conhecidos por musseques, por sua vez, emergiram por todo o lado, invadiram todo espaço urbano e não urbano, deram origem ao tipo de construção que se resume em bairros sem acessibilidades, sem um padrão de orientação arquitetónico, bairros muito compactos, com pouco conforto térmico, poucos espaços verdes, espaços de lazer e outros, como se pode observar através da imagem atual da cidade de Benguela.

Os elementos integrantes da imagem que a cidade apresenta ao observador, são diversificados e reformulados de acordo com o contexto histórico, económico e social dos habitantes.

Os problemas de urbanização em Benguela, deram-se de forma semelhante em todas as cidades do país, portanto presume-se que este fenómeno tenderá a aumentar a brecha de exclusão social, pensamos que era oportuno que se tomasse algumas medidas, no sentido de corrigir essa realidade, é preciso que se faça um esforço de modo a favorecer a desconcentração em termos de investimentos e, fazer com que as pequenas cidades sejam reestruturadas de forma aceitável dentro dos padrões urbanísticos tidos por lei, para garantir o seu melhor funcionamento.

Na nossa opinião, pensamos que ainda há tempo para reverter esta situação, desde que se conceba um planeamento territorial com estratégias que visam combater a ocupação do espaço de forma inadequada, não só, como também proceder a elaboração de documentos que sirvam de instrumentos básico para a política de desenvolvimento e de expansão urbana⁴.

⁴ É importante que se tenha em conta os instrumentos de gestão territorial, visto que estes definem a estrutura das cidades como instrumento básico para orientar as políticas de desenvolvimento e de ordenamento da expansão urbana, tendo como objetivo, orientar as ações do poder público, visando a

Em 2004 foi aprovada a lei que regula a política de ocupação do espaço para fins urbano, designado a terra como propriedade originária do estado, esta lei, entre outras medidas, prevê garantia do direito à terra para o cidadão nacional, mas não determina a tipologia em termos de moradia para as mais diversas áreas determinadas como aptas para à construção (Figura 3.2). Desta forma, se não existir maior atenção aos pressupostos da lei, as cidades provavelmente continuarão caóticas.

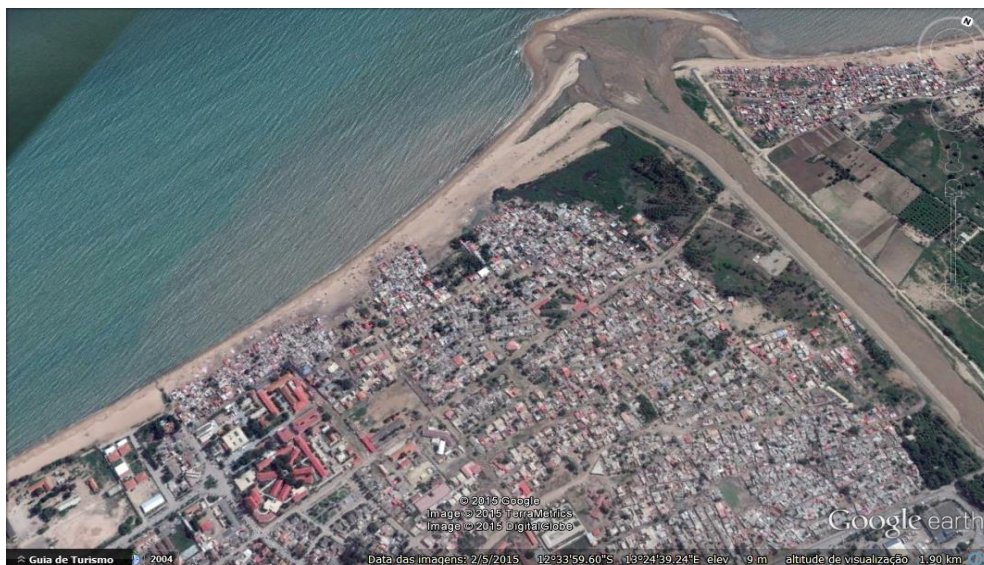


Figura 3.2 - Fotografia aérea da cidade de Benguela (Google Earth, 2017).

3.4 - Serviços, espaços de lazer, espaços verdes e outros

Em termos de serviços conta-se com alguns poucos, por exemplo, no âmbito da saúde conta-se com um (1) hospital geral provincial e um (1) municipal, vários centros de saúde e algumas clínicas privadas que atendem a população do município, mas também, atendem pessoas de outras áreas do país, principalmente no que tem a ver com serviços de oftalmologia.

compatibilização dos interesses coletivos e, garantir de forma mais justa os benefícios da urbanização, garantir os princípios da reforma urbana, direito à cidade e à cidadania, gestão democrática da cidade. Garantir o atendimento das necessidades da cidade; garantir uma melhor qualidade de vida na cidade; preservar e restaurar os sistemas ambientais; promover a regularização fundiária; consolidar os princípios da reforma urbana.

A educação conta com uma rede de escolas a todos os níveis, desde o ensino primário, ensino secundário, ensino médio e ensino superior, capazes de satisfazer perto de 70% da procura local, o ensino superior é formado por instituições de ensino público e privado.

O ramo hoteleiro teve o seu desenvolvimento, conta-se com uns poucos hotéis, capazes de atender e alojar o pessoal que se desloca para aquela cidade, portanto o sector do turismo, ainda apresenta alguma fragilidade, já há estudos a serem feitos pelo governo local, com objetivo de potencializar o sector.

Relativamente às zonas verdes, são poucas ou quase inexistentes, isto entre parques temáticos e recreativos, jardins e matas, onde é possível divertir-se, apreciar as belas paisagens da natureza ou observar a fauna ou simplesmente relaxar.

Os munícipes têm a famosa praia morena, alguns defendem que a sua inexistência, Benguela não seria a mesma, é um símbolo maior da cidade das acácias rubras, é uma pena que a mesma esta a ser invadida por construção habitacional, há lá também outras praias lindas, como a praia da “caotinha” ao lado das falésias calcárias, fazendo-a um lugar para privilegiados.

No centro da cidade, estão por lá alguns jardins e largos, por exemplo o largo da peça é um símbolo histórico, não só pela antiguidade, mas porque foi um importante centro da atividade comercial, concentrando grande parte dos interesses económicos e da vida social da urbe, devido à afluência das caravanas provenientes do interior com objetivo de negociarem a borracha, a cera e o marfim.

A peça de artilharia que foi colocada no largo em 1846, teria sido do canhão que serviu para afugentar os ataques dos naturais, principalmente dos mundombes, que segundo a história, atacavam continuamente a cidade para saquear⁵.

Há o famoso morro do sombreiro, farol de pedra em frente ao mar, que dá presença incontornável e omnipresente da praia morena à ponta da baía farta, o morro do sombreiro é um dos símbolos importantes, vigilante, ativo e emocional.

⁵ Fonte: www.redeangola.info/roteiros/largo-da-peca/.

3.5 - Evolução demográfica

Durante muitos anos, não tínhamos informação sobre a população, só em 2014, é que se realizou o censo geral da população e habitação em Angola, os resultados foram assustadores, no caso da província de Benguela, registou-se uma população geral estimada em 2.036.662 habitantes, numa análise comparativa com os dados demográficos do último período censitário, antes da independência na década de 1970⁶ até ao levantamento recente de 2014, observa-se grandes diferenças (Figura 3.3) segundo fonte do Instituto Nacional de Estatística de Angola (INE, 2014).

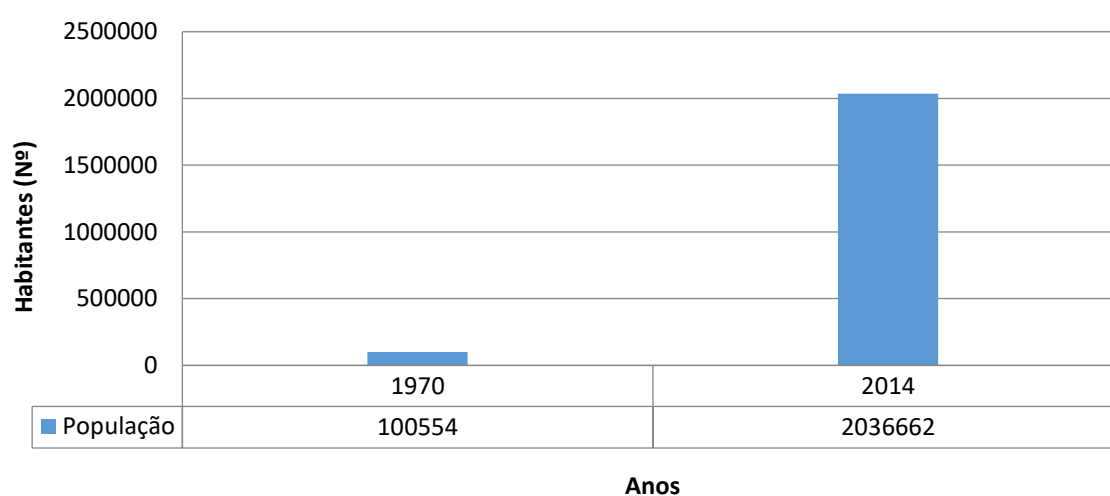


Figura 3.3 – População em Benguela nos anos de 1970 e 2014 (Fonte: INE, 2014).

Ao comparar os resultados dos censos, desde a última realização oficial, datado em 1970, verifica-se grandes diferenças, comparando com os resultados obtidos em 2014, entretanto essa informação, trouxe elevadas expectativas para implementação desse exercício, no sentido de vir a confirmar a existência de correlação com o crescimento urbano.

⁶ Contribuição para o conhecimento do fenómeno de urbanização em Angola (1976).

3.6 - Infraestruturas rodoviárias

As infraestruturas rodoviárias do município, estão aquém dos desejos tendo em consideração a classificação entre primárias, secundárias e terciárias, salienta-se que existe alguns investimentos já feitos e outros a serem feitos, ao nível das estradas primárias (Nacionais) aquelas que ligam as grandes cidades, portanto relativamente às estradas secundárias e terciárias, ainda são poucos os investimentos a serem feitos, esperamos que nos próximos tempos haja maior atenção para essas estruturas.

Em termos de importância, as infraestruturas rodoviárias são relevantes, pelo facto de contribuir significativamente para o desenvolvimento social e económico regional, investir nelas faz sentido na medida que possam contribuir de forma significativa para garantia da mobilidade ao nível regional.

Uma rede viária quando bem desenvolvida, torna-se um fator essencial para o desenvolvimento, se for debilitada, criam-se muitos entraves a nível de acesso e, como consequência fazem com que os custos de transportes sejam mais elevados para a economia local.

Ao nível microeconómico, os investimentos em infraestrutura rodoviárias facilitam o crescimento, garantem o aumento do retorno dos investimentos privados e, em nível macroeconómico, para economias de escala, os efeitos de uma boa acessibilidade, podem reduzir os custos de transportes e promoverem a expansão das áreas de mercado afeto a empresas locais, para além de garantir oportunidades de acesso a mercados mais abrangentes, tornando possível aumentar a diversificação e a produtividade económica (Horst e Moore, 2003; Iacono e Levinson, 2008).

Capítulo 4 - Modelação do Crescimento Urbano de Benguela

Para além da observação feita na representação da área em estudo, no sentido de perceber dentro dos limites do município, sobre o carácter do uso do solo, de forma a tentar entender como se desenvolveu ao longo do tempo, datado entre 1994, 2004 e 2014, a busca de informação para melhor explicar o fenómeno de crescimento da mancha urbana, obrigou que generalizasse as fontes de pesquisa, transpondo os limites pré-estabelecidos ao nível regional.

A análise visual da área em estudo, a partida, permitiu o entendimento sobre a existência de fortes semelhanças na estrutura da paisagem, entre o perímetro construído e não construído, por exemplo, entre a urbanização feita nos anos primórdios da fundação da cidade de Benguela e o perímetro construído pós-independência 1975, é possível verificar algumas diferenças, mas grande parte do edificado confunde-se com alguma estrutura de rochas sedimentares.

Portanto este fenómeno dificulta que um estudo mais detalhado seja feito ao nível da paisagem, sobre tudo, quando se pretende obter informações por intermédio de imagens de satélite de baixa resolução espacial. A problemática da abstração de informação a partir de imagens de satélite de baixa resolução, tem gerado muitas discussões nas mais diversas áreas de estudo, portanto já por muitos é sabido que em exercícios em que se usa este tipo de informação, muita das vezes os resultados são condicionados.

Sugeria que mais estudos voltados a essa área fossem feitos, no sentido de merecer uma atenção particular, principalmente nas características da informação existente, o que possivelmente, reforçaria o aumento da atenção dispensada aos sectores de produção de informação geográfica.

Pressupõe-se que o pouco conhecimento existente sobre o contributo da informação geográfica na tomada de decisão em problemas relacionados com o dia-a-dia, de certa forma, pode estar na base das poucas motivações para mais investimentos nessa área.

Relativamente a introdução dos sistemas de informação geográfica no currículo académico, iniciou-se tardiamente em relação a outros lugares do mundo, ainda existe pouco conhecimento teórico, fundamentado em sistemas de informação geográfica e em estudos de produção de cartografia de modo abrangente, seja para outros fins ou para estudo no país em geral.

Temos a certeza de que há pouca informação geográfica, portanto essa insuficiência de informação, tem impedido a possível iniciativa de criação de projetos, com o fim de apoiar a tomada de decisão na gestão do espaço de forma geral, presume-se que tem condicionado o caminhar para além das discussões sobre como solucionar os problemas existentes, que estão na base da expansão urbana, da cartografia de uso do solo, da geologia, da cartografia de risco, acessibilidades, redes de transportes, construção de geoportais e outros.

A evolução do trabalho viria a confirmar a importância dos dados de detecção remota, para compreender a evolução da paisagem ao nível do município, por ser um dos métodos mais utilizado para estudar alterações de uso do solo, permitindo a comparação de imagens depois de classificadas (Foody, 2002: p.185).

Sobre os estudos de cartografia da área em estudo, podemos considerar inexistentes, apesar de existirem diversos registos importantes sobre os aspetos estruturais do relevo desta área datados na década de 1970.

Como ponto de partida para o desenvolvimento deste trabalho, primeiramente fez-se um levantamento e análise em termos bibliográficos, buscou-se históricos de trabalhos de vários autores nacionais, foram poucas as obras encontradas, que constituíssem as principais referências para o conhecimento dos sistemas de informação geográfica e, com maior incidência em estudos de modelação urbana.

Recolhemos trabalhos de autores internacionais, desenvolvidos com base em modelação de crescimento urbano com recurso aos autómatos celulares, não só, como também outros trabalhos com destaque aos sistemas de informação geográfica (SIG), uma vez que daí pode se considerar o ponto de partida para qualquer iniciativa em construir modelos de simulação de crescimento urbano.

A pesquisa feita permitiu conhecer trabalhos de alguns autores nacionais, tais como Chissingui (2010); Hequer (2011); Secuma (2012); Ribeiro (2013); Saraiva (2014), e internacionais como: Xia e Yeh (2002); Almeida (2003); Johan (2008); Rocha (2011); Santos (2014), entre outros. Destacam-se ainda os trabalhos desenvolvidos em países africanos por investigadores internacionais, nomeadamente os de Raposo e Henriques (2005), Henriques (2005; 2008), e Henriques e Tenedório (2009).

O principal objetivo cingia-se na busca de trabalhos nacionais com fundamentos em modelação do crescimento urbano, o que não foi possível encontrar, parece-nos que os poucos estudos direcionados à área em estudo, devem-se ao facto de os sistemas de informação geográfica, ao nível regional ser uma matéria pioneira.

Os poucos trabalhos encontrados, simplesmente apresentam fundamentos no uso dos sistemas de informação geográfica, assim, chegamos a conclusão de que pouca coisa foi feita, no que se refere a usabilidade dos sistemas de informação geográfica, pensamos que ainda há muito que se fazer com as poderosas ferramentas de geoprocessamento.

De uma forma geral, os trabalhos analisados, propõe um conjunto de técnicas e métodos que podem ser aplicados para buscar soluções de problemas nas mais diversas áreas em que os sistemas de informação geográfica podem ser importantes.

Todavia, foram esses trabalhos que deram luzes para o bom conhecimento para concretizar a modelação e simulação do crescimento urbano, influenciaram as técnicas sobre o uso dos *softwares* de gestão espacial, constituíram referências fundamentais para quem inicia um estudo voltado à área de modelação do crescimento urbano em qualquer contexto.

4.1 - Características dos dados

Apresentou-se neste capítulo os dados geográficos disponíveis para o exercício, é importante salientar que houve grandes limitações em função das dificuldades existentes em termos de informação geográfica disponível para a área em estudo, informação essa, que possa representar alguma estrutura do uso do solo que nos de a conhecer o historial sobre as mudanças ocorridas na mancha urbana entre os diferentes períodos, desde a fundação da cidade aos dias atuais.

De acordo as dificuldades em termos de informação geográfica, como alternativa aos dados livres, por garantirem uma baixa qualidade, solicitamos algumas instituições, nomeadamente o IGCA, Administração Municipal de Benguela, o Urbanismo e Ambiente em Benguela, a Cartafrica, em Lisboa solicitamos o CIGeoE, não tivemos sucessos.

Recorremos a imagens de satélite, nomeadamente imagens do Landsat 5 e 8, estando disponíveis gratuitamente e em várias escalas temporais de modo que a partir dessas imagens, fossem derivados os mapas de uso do solo do tempo em análise, evidenciando às condicionantes em função da legislação em vigor se existir, no entanto, a nomenclatura da classificação foi feita tendo em consideração ao contexto a que se procedeu a ocupação dos respetivos espaços, deste modo, podemos verificar na (Figura 4.1) a ilustração de um cenário de ocupação, no que diz respeito aos vales, margens de rios, declives, escapatórias nas vias primárias, foram ignoradas, sendo assim, a

justificação deste problema, por um lado, deve-se a falta de alternativas dos munícipes, por outro lado, talvez seja por falta de informação dos riscos prováveis de acontecer diante desta realidade.

A escolha das imagens do satélite Landsat, justificam-se por falta de alternativas, por outro lado, por serem consideradas desde o seu aparecimento como um poderoso meio de obter informação atualizada a custos relativamente baixos, sobre às atividades que decorrem em meio urbano, incluindo aquelas que se processam na franja urbano-rural (Rocha e Morgado, 2007: p.68).



Figura 4.1 - Imagens dos musseques da cidade de Benguela (Google Earth, 2017).

Foram usadas três imagens de satélite, duas do Landsat 5 e uma do Landsat 8, selecionou-se as bandas RGB cujas características são apresentadas a baixo (Tabela 4.1) e (Tabela 4.2).

Tabela 4.1 - Características dos dados Landsat 5 fonte: www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-Landsat5e7_PT.php.

Bandas	Resolução Espectral (µm)	Resolução Espacial (m)	Principais características
1	(0,45 - 0,52)	30	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenoides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	30	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	30	A vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). Permite análise da variação litológica em regiões com pouca cobertura vegetal. Permite o mapeamento da drenagem através da visualização da mata galeria e entalhe dos cursos dos rios em regiões com pouca cobertura vegetal. É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	30	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal). Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Serve para separar e mapear áreas ocupadas com pinheiros e eucalipto. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex.: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	30	Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite.
6	(10,4 - 12,5)	120	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	30	Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal.

O Landsat 8 foi iniciado em 2013, em termos de resolução espacial, possui quinze (15) metros na banda pancromática e trinta (30) metros nas bandas multiespectrais, o Landsat é um grande clássico no sector de observação da terra, as suas imagens, permitem gerar imagens com resolução de quinze (15) metros, coloridas por intermédio de um

processo de fusão, a sua riqueza espectral e a ampla abrangência de cada cena é a solução padrão para trabalhos até a escala 1:25.000.

Tabela 4.2 - Características da imagem Landsat 8. Fonte :www.satimagingcorp.com/satellite-sensors/landsat-8/.

Bandas	Nome	Resolução espectral (µm)	Resolução espacial (m)
1	Coastal	0,43 - 0,45	30
2	Blue	0,45 - 0,51	30
3	Green	0,52 - 0,60	30
4	Red	0,63 - 0,68	30
5	NIR	0,84 - 0,88	30
6	SWIR 1	1,56 - 1,66	30
7	SWIR 2	2,10 - 2,30	30
8	Pan	0,50 - 0,68	15
9	Cirrus	1,36 - 1,39	30
10	TIRS	10,6 - 11,2	100
11	TIRS	11,5 - 12,5	100

Os dados usados neste exercício, são oriundos de diversas fontes, por exemplo, os dados vetoriais, nomeadamente os limites administrativos e a rede viária, foram cedidos pelo Instituto Superior de Ciências da Educação de Benguela (ISCED) as imagens de satélite do Landsat 5 e 8 e o modelo digital do terreno de noventa (90) metros, foram descarregados do *site* do *United States Geological Survey* (USGS) de forma gratuita (Tabela 4.3).

Tabela 4.3 - Dados e fontes

Dados	Data	Fonte	Formato	Sistemas de referência	Resolução espacial (m)
Imagens Landsat 5 TM	1994	NASA	Raster	WGS84	30
Imagens Landsat 5 TM	2004	NASA	Raster	WGS84	30
Imagens Landsat 8 TM	2014	NASA	Raster	WGS84	30
Limites administrativos	2011	ISCED	Vectorial	WGS84	-
Rede Viária	2013	Cinfic	Vectorial	WGS84	-
Modelo Digital do Terreno	2014	NASA	Raster	WGS84	90

4.2 - Metodologia

Para a resolução deste exercício, tivemos como ponto de partida à análise de várias fontes documentais, nos quais, faz parte um projeto do plano diretor municipal (PDM) da cidade de Benguela, para tentar perceber teoricamente como se pretende categorizar o espaço da região em estudo, para fins de classificação de uso do solo.

Usaram-se dados geoespaciais de diferentes formatos e de diferentes fontes, com objetivo de criar modelos históricos e determinar os vetores de crescimento da mancha urbana, permitir analisar a situação do passado e presente do uso e ocupação do espaço urbano, pré-determinar as possíveis áreas disponíveis para o crescimento da mancha urbana da cidade, principalmente áreas que oferecem melhores condições e estejam disponíveis para se desenvolver do ponto de vista urbano, sem esquecer de determinar as possíveis condicionantes, tanto de natureza física como legais, que possam impedir a extensão urbana se existir.

Selecionamos três imagens do Landsat de diferentes períodos, nomeadamente 1994, 2004 para o Landsat 5 e 2014 para o Landsat 8, destas imagens, extraímos as bandas RGB, ambas possuem resolução espacial de 30 metros, procedemos a construção de um raster virtual, em seguida extraímos a informação que nos deu a conhecer o crescimento do ponto de vista urbano nas datas acima descritas.

Começamos por construir uma matriz virtual a partir do *software* Qgis de modo a juntar as bandas RGB, em seguida recortar as mesmas pela área de estudo do município, daí, se fez a exportação das mesmas para o *software* Idrisi Selva, onde se procedeu o processo de classificação de imagens supervisionada, para derivação dos mapas de uso do solo para os anos de 1994, 2004 e 2014, esses mapas por sua vez, serviram de entrada para construção do modelo preditivo de simulação do crescimento urbano da cidade de Benguela para 1970, 2014 e 2040.

A partir do *software* Idrisi Selva, se fez a importação das imagens do formato *tiff* para formato idrisi, para o efeito, usou-se a ferramenta *composite imagem*, que permitiu juntar as bandas RGB das imagens selecionadas na combinação desejada, seguidamente, a partir da ferramenta *criate raster group*, criou-se um agrupamento das bandas selecionadas, concluindo assim o segundo passo para permitir fazer a segmentação das imagens.

Após o processo de segmentação, usou-se a ferramenta *SegTrein*, para criação das áreas de treino, consistiu em formar uma malha de vários polígonos que agrupam píxeis

que representam o mesmo tipo de uso em função do coberto do solo, por último, procedeu-se a classificação de imagem supervisionada, a fim de fazer a derivação dos mapas de uso do solo para 1994, 2004 e 2014 respetivamente.

A última etapa consistiu em fazer avaliação da qualidade dos mapas, por intermédio da construção de uma matriz de confusão, posterior fez-se a delimitação da classe urbana nos respetivos períodos, os mapas urbanos serviram de entrada para a construção do modelo de expansão urbana no *Land Chang Modeler* (LCM) do *software* Idrisi Selva, também permitiram determinar os mapas diferenciais de ganhos e perdas entre a classe do urbano nos períodos de 1994 e 2004.

Preparou-se outras variáveis que achamos importantes para construção do modelo de simulação, nomeadamente a rede viária, distâncias às zonas urbanas e os declives, essas variáveis, foram tratados no *software* Arcgis, seguidamente exportadas em formato *ascii* para o *software* Idrisi Selva onde se concretizou o processo.

Antes da construção do modelo, determinou-se o potencial de mudanças entre as diferentes classes (não urbano para urbano) e simultaneamente o mapa de tendência para o crescimento urbano nos próximos anos, correu-se o modelo para obter o potencial de transição, que foi usado para a validação no processo de simulação do crescimento urbano para o ano de 2014, que serviu como uma das variáveis principais para o modelo preditivo de 2040. A simulação para 1970, foi inversa ao processo anterior.

Para a simulação da expansão urbana para 2040, a validação do modelo foi feita com o mapa de uso do solo de 2014 obtido na primeira etapa do processo de classificação de imagem supervisionada. Para uma explicação mais resumida a (Figura 4.2) apresenta o fluxograma da metodologia do exercício.

A introdução de vários *softwares*, nomeadamente Arcgis, Qgis e o Idrisi, deveu-se a uma questão de interoperabilidade, com finalidade de se tirar partido de algumas tarefas que são mais eficientes, garantem um certo conforto em realizar num *software* em relação a outro.

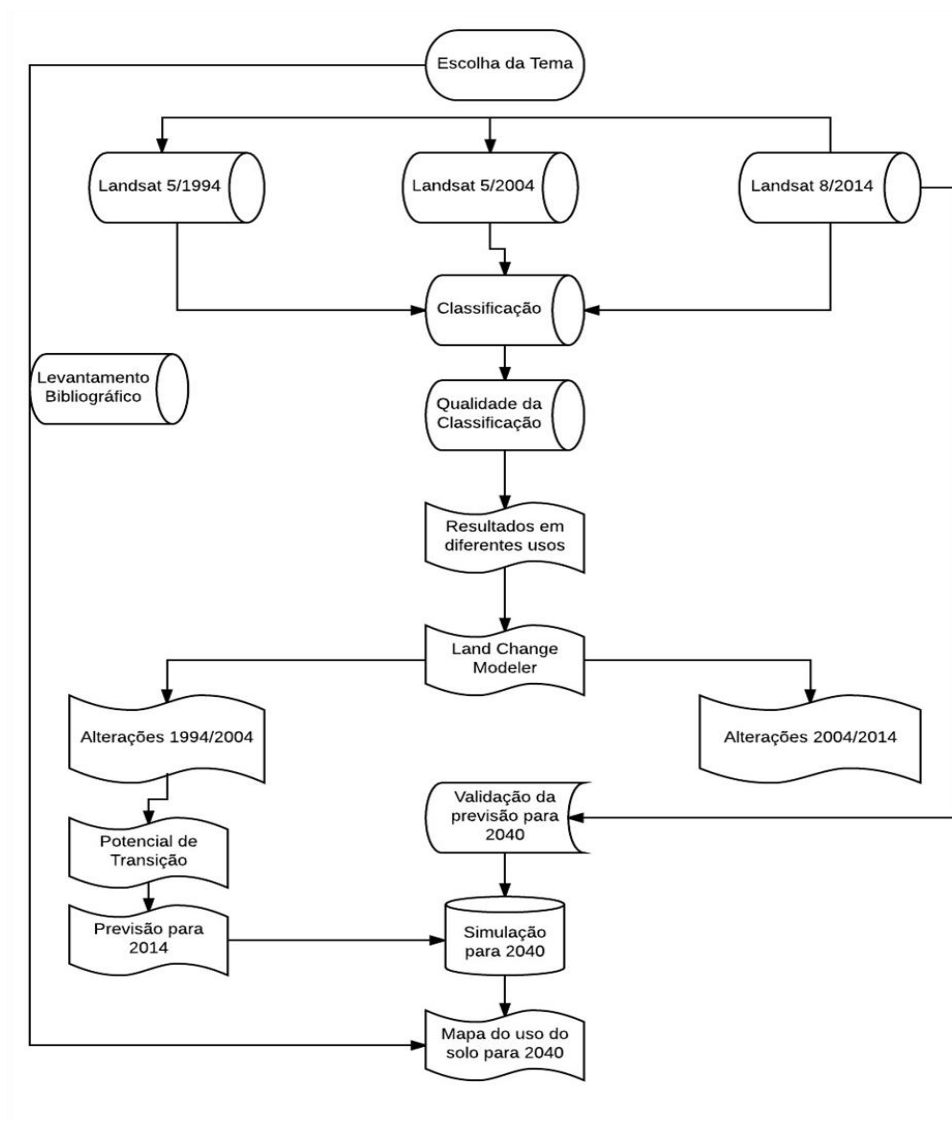


Figura 4.2 - Fluxograma da metodologia usada

4.3 - Pré - Processamento

O processamento de imagens, visa executar os métodos de tratamento das imagens de DR que têm como objetivo, transformar as imagens originais de modo a realçar a informação que se pretende extrair na fase de extrapolação.

Também consiste em eliminar as distorções na imagem, estas podem ser radiométricas, quando corresponde a alterações dos valores de intensidade dos elementos

da imagem, ou geométricos quando correspondem a alterações das posições absolutas ou relativas desses mesmos elementos (Fonseca e Fernandes, 2004: p.59).

As imagens do Landsat 5 e 8 foram descarregadas em formato *Tiff*, disponibilizadas em WGS84, sendo convertidas para WGS84 UTM 33 Sul, correspondente com a área em estudo, para o caso da imagem do Landsat 8, estão disponíveis em 16 bits, podendo serem convertidas para 8 bits.

Uma das grandes dificuldades, consistiu na qualidade das imagens obtidas para o exercício, do ponto de vista qualitativo, as imagens não eram das melhores, tanto que nos testes feitos com os softwares Arcgis e Qgis, não era possível calcular devidamente as assinaturas espectrais.

As assinaturas espectrais são importantes, porque refletem o comprimento de onda ou a intensidade relativa com que cada corpo reflete ou emite a radiação eletromagnética nos diversos comprimentos de onda, é única para cada substância, funciona como uma impressão digital que permite ser identificada.

Toda via, o processo de extração de informação em imagens para reconhecer os padrões e objetos homogêneos por meio da detecção remota, isto é, no mapeamento de áreas da superfície terrestre, que correspondem aos temas de interesse, num processo de classificação baseado em píxel-a-píxel, o importante é a utilização da informação espectral de cada píxel, para se poder achar regiões homogêneas.

4.3.1 - Influência das bandas

A seleção das bandas para a identificação dos vários tipos de usos existentes numa determinada área, basicamente é feita em função da finalidade e consequentemente, a importância que cada uma delas possui.

Em seguida, apresenta-se as bandas do Landsat 5 e 8 usadas no exercício (Figura 4.3) por exemplo a banda azul, é influente no mapeamento das águas costeiras, para além disso, também é influente na diferenciação entre o solo e as plantas, permite classificar as espécies florestais e identificar objetos artificiais como estradas e edifícios.

A banda verde apresenta com maior propriedade a refletividade na vegetação por intermédio do teor de clorofila, a sua aplicação, torna-se útil para diferenciar os vários tipos de plantas e também para identificação de objetos artificiais.

A banda vermelha é uma das bandas mais importantes, pelo facto de favorecer a discriminação entre diferentes tipos de vegetação, como também possuir grande utilidade para o mapeamento de diferentes tipos de solos.

Depois do processo de fusão das diferentes bandas, foi possível visualizar as imagens em diferentes combinações, pois que a combinação das cores, permite dar maior realce ao tipo de material que se quer estudar, entretanto a composição pode ser apresentada em falsa cor ou em cor verdadeira.

Na imagem do Landsat 5, as cores vermelha, verde e azul correspondem às bandas 3, 2 e 1 respetivamente, na região do visível do satélite Landsat, já na imagem do Landsat8, às mesmas cores, estão em correspondência com as bandas 4, 3 e 2.

A utilização das respetivas bandas garante a possibilidade de alternar ou trocar às posições ou combinações das mesmas, permitindo que sejam apresentadas em diferentes combinações (falsa cor) por exemplo, na imagem do Landsat 8 os números correspondentes a essas combinações, são extremamente diferentes das combinações feitas na imagem do Landsat 5 (Figura 4.4).

Essa combinação tem maior relevância, por exemplo, no processo de classificação de uma imagem, em que o objetivo seja fazer a representação das macro-classes como as respetivas micro-classes, neste processo, por exemplo, dentro de uma classe macro, como é o caso da vegetação, podemos avaliar diferentes espécies entre outras.

Imagem Landsat 5 de 1994



Imagem Landsat 5 de 2004

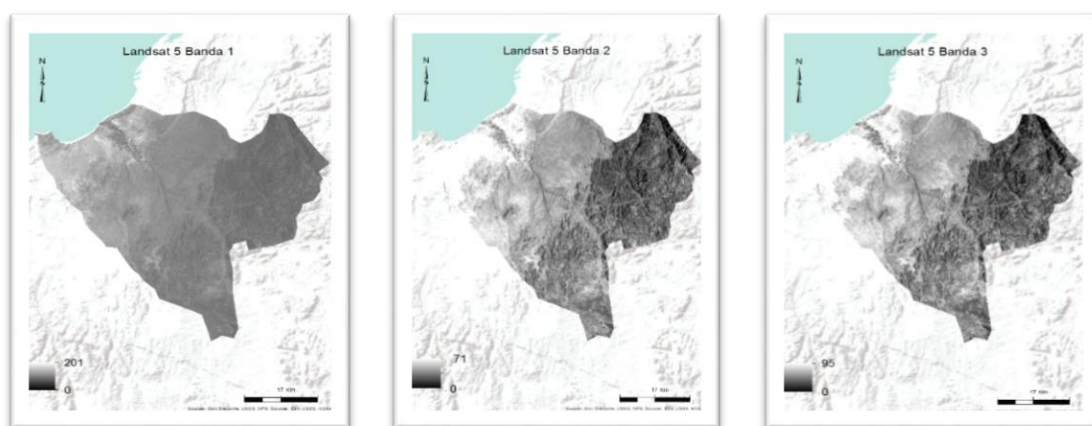


Imagem Landsat 8 de 2014

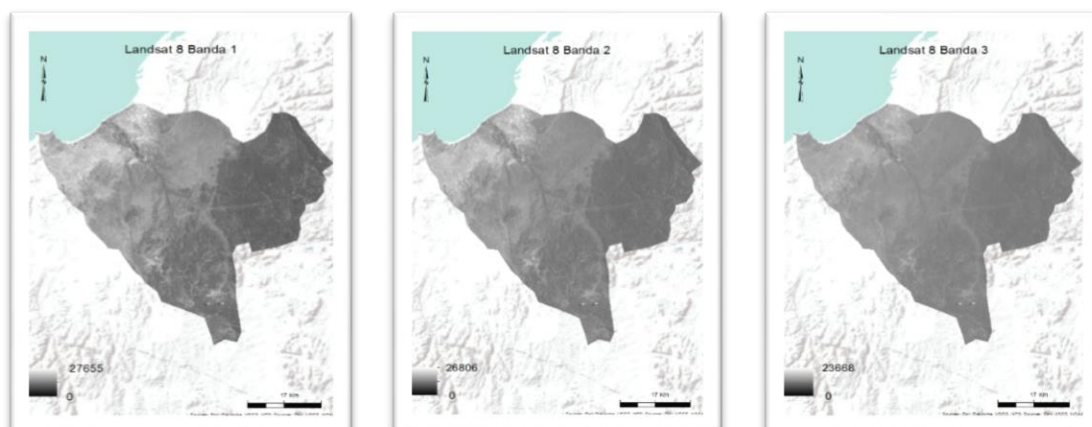


Figura 4.3 - Bandas do espectro do visível do Landsat 5 e 8 (as bandas 2, 3 e 4 do Landsat 8, correspondem às bandas 1, 2 e 3 do Landsat 5).

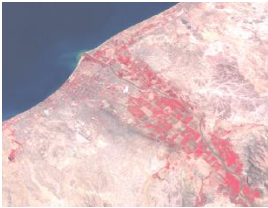


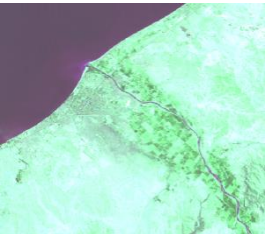
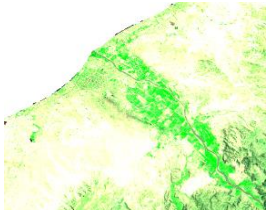
Vista rápida	Resultado	Bandas Landsat 5	Bandas Landsat 8
	Infravermelho	4-3-2	5-4-3
	Cor Natural	3-2-1	4-3-2
	Falsa Cor	5-4-3	6-5-4
	Falsa Cor	7-5-3	7-6-4
	Falsa Cor	7-4-2	7-5-3

Figura 4.4 - Diferentes combinações coloridas com bandas da Imagem Landsat 8 de 2014.

4.4 - Classificação das imagens de satélite

A classificação de imagens de satélite, nomeadamente do Landsat 5 e 8, fundamentou-se na avaliação do coberto do solo em diferentes períodos, 1994, 2004 e 2014, a extração desta informação, permitiu obter os dados de entrada para a construção do modelo de simulação de expansão urbana, porém, a classificação foi feita em dois

níveis, o primeiro nível apresenta cinco (5) classes, nomeadamente urbano, água, vegetação, solo exposto e outros. O segundo nível conta com duas (2) classes, não urbano e urbano, sendo essas as principais variáveis para o modelo de simulação. A nomenclatura dessa classificação foi feita em função da qualidade que as imagens possuem, no entanto, achamos por bem que a classe (1) urbana, representasse toda a área construída, uma vez que não houve possibilidade de criar micro classes, que permitiriam separar o urbano do suburbano.

O mesmo aconteceu com as restantes classes, entre as várias, destacamos a classe cinco (5) que representa outros usos, achamos por bem que também esta classe fizesse a representação de todos os objectos e materiais difíceis de identificar a partir da resposta espectral das imagens e, desta forma procedemos para as restantes classes.

O processo de classificação das imagens à partir do Idrisi Selva, começou por um processo de *Segmentation of pixels*, que permitiu a criação de uma máscara sobre a imagem original, dividindo-a em pequenos polígonos, em função da semelhança existente entre os diferentes usos, no entanto, existe meios que podem ser usados pelo classificador, no sentido de proceder a classificação com maior qualidade possível, como é o caso da ferramenta *similarity tolerance*, permite ao classificador redimensionar os polígonos a serem produzidos na fase de segmentação, quanto menores forem os polígonos, melhor qualidade no resultado se obtém.

A segmentação de imagem (Figura 4.5) consiste em subdividir uma imagem em regiões homogêneas que a compõem, em função de um determinado atributo dos elementos da imagem (Fonseca e Fernandes, 2004: p.95).

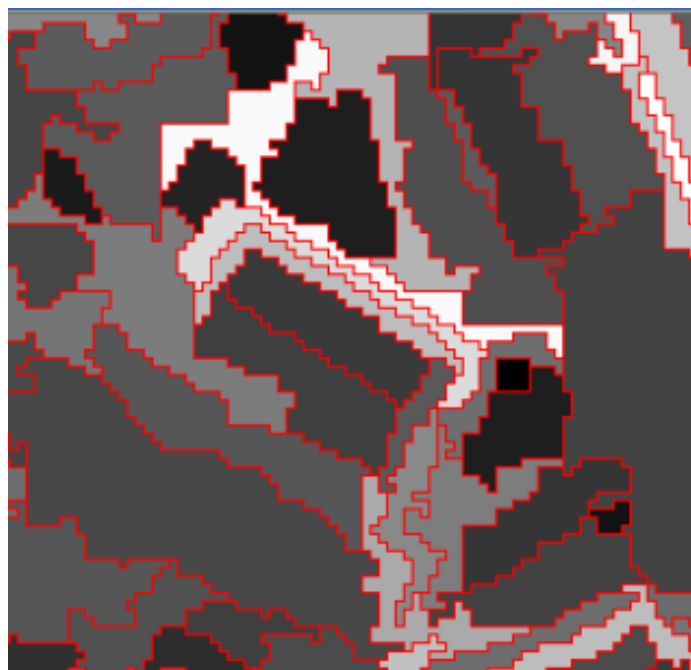


Figura 4.5 - Imagem segmentada (Fonseca, 2006).

A separação dos píxeis é de acordo a cada objeto ou região, é uma etapa fundamental para o sucesso do processo de análise da imagem, embora seja fácil de identificar as regiões com as mesmas características ou objetos presentes nela, para se realizar a mesma tarefa, a partir um computador, deve-se implementar algoritmos que analisam as características de cada píxel ou da distribuição da população de píxeis.

No método de classificação supervisionado, existe uma nomenclatura para elaboração do mapa temático de ocupação do solo, essa consiste num conjunto de classes de ocupação do solo bem definidas, as classes de nomenclatura designadas por classes de informação, podem não corresponder as classes espectrais unimodais (Fonseca e Fernandes, 2004: p.109).

De acordo com Rocha e Morgado (2007: p.69) a classificação supervisionada é fisicamente efetuada em quatro fases distintas: i) definição de nomenclatura, onde se estabelecem as classes de ocupação do solo; ii) treino; iii) classificação; iv) apresentação e avaliação de resultados.

O processo de classificação garantiu a possibilidade de análise ao nível do píxel, permitindo ao classificador, em função do conhecimento que possui sobre a área em estudo, incluir outras informações. Na classificação píxel-a-píxel, usa-se de forma

individual a informação espectral de cada píxel, em busca de áreas homogêneas, como é o exemplo do método da máxima verosimilhança⁷.

Portanto os tradicionais classificadores digitais, foram desenvolvidos baseados em características do píxel como unidade primitiva de informações ao respeito dos alvos, são denominados pela abordagem de classificadores píxel-a-píxel, sobretudo, quando se está diante de imagens de satélite de baixa resolução espacial. A possibilidade de melhorar a resolução espacial e espectral, trazida pelo avanço tecnológico, evidenciou a dificuldade de aplicação destes classificadores (Bläschke e Strobl, 2001).

Deste modo, umas das fraquezas ao trabalhar com imagens de baixa resolução espacial, é que um único píxel pode armazenar a resposta espectral de mais de um objeto, ou uma área heterogênea de um mesmo objeto, enquanto que nas imagens de alta resolução espacial, um píxel possui características espectrais semelhantes às de seus vizinhos, o que diferencia melhor o tipo de material que nele é armazenado (Machado e Caetano, 2002).

De acordo com cenário paisagístico predominante que se observa na área em estudo, relativamente ao crescimento da mancha urbana, o carácter do suporte físico do solo, apresenta-se estruturalmente diferenciado, em termos de homogeneidade nos materiais de construção e de cobertura a nível dos edifícios, esta variedade de materiais, em que alguns não são possíveis de diferenciar-se da estrutura física do solo, condicionou a refletividade e a textura, pondo em causa a assinatura espectral das imagens.

Analizou-se as diferentes bandas de cada imagem, para perceber estatisticamente a influência de cada uma em termos de número digital (*digital number*) tal como apresentamos os histogramas da banda 1 da imagem do Landsat 5 do ano de 1994 (Figura 4.6).

As imagens de DR, por sua natureza digital ou discreta, são constituídas por um arranjo de elementos sob a forma de uma malha ou grade, cada quadrado dessa grade tem sua localização definida em um sistema de coordenadas representados por X e Y (Brys,

⁷ Máxima verosimilhança é um método estatístico de reconhecimento de padrões que se desenvolve em duas etapas: fase do estabelecimento do conjunto de padrões, que pode ser supervisionado ou não supervisionado, e a fase de classificação, na imagem, dos padrões definidos na fase anterior, este método parte do pressuposto que o nível radiométrico de uma imagem numérica são ocorrências de uma variável aleatória normal (Fonseca e Fernandes 2004, p.106).

2008). Para um mesmo sensor remoto, cada píxel representa sempre uma área com as mesmas dimensões na superfície da terra.

Cada elemento da grade possui um atributo numérico Z, que indica o nível de cinza, portanto é óbvio que haverá variação do preto ao branco, esta variação é conhecida por *digital number* (DN).

O DN de um píxel representa a intensidade da energia eletromagnética refletida ou emitida medida pelo sensor, para a área da superfície da terra correspondente ao tamanho do píxel. O DN de um píxel, também corresponde à média da intensidade da energia refletida ou emitida pelos diferentes materiais presentes nesse píxel.

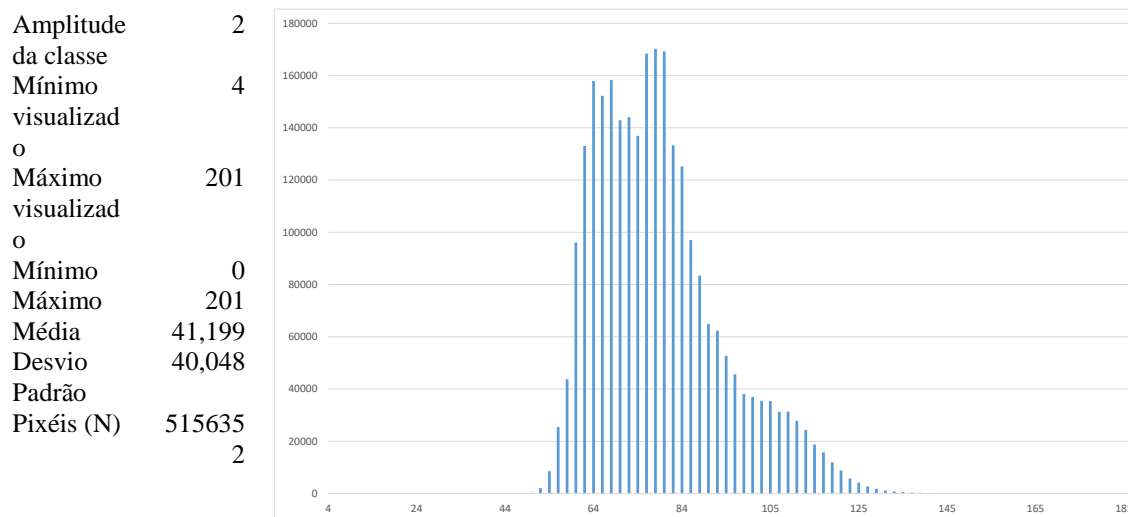


Figura 4.6 - Estatísticas (como exemplo) da banda 1 da imagem Landsat 5 de 1994.

Em processamento de imagens, trabalha-se sempre com os tons de cinza *Digital Numbers* atribuídos aos píxeis de uma imagem. O histograma é uma das formas mais comuns de se representar a distribuição do DN de uma imagem e possivelmente, a mais útil em processamento digital de imagens de satélite.

O DN fornece a informação sobre quantos píxeis na imagem possuem cada valor possível que no caso das imagens de 8 bits, esses valores variam de 0 a 255 ou de forma equivalente, igual a proporção da imagem que corresponde a cada valor de DN.

A cada elemento presente na imagem captado pelo sensor do satélite, apresenta um comportamento espectral próprio, denominado assinatura espectral, o que permite ao

usuário discriminar os elementos apresentados pela imagem, quanto maior for a resolução espectral, maior a capacidade de discriminar esses elementos.

4.5 - Derivação dos mapas de uso do solo

De forma resumida, apresenta-se um pequeno fluxograma (Figura 4.7) que espelha a metodologia usada no processo de classificação supervisionada, que permitiu chegar aos resultados apresentados (Figura 4.8).

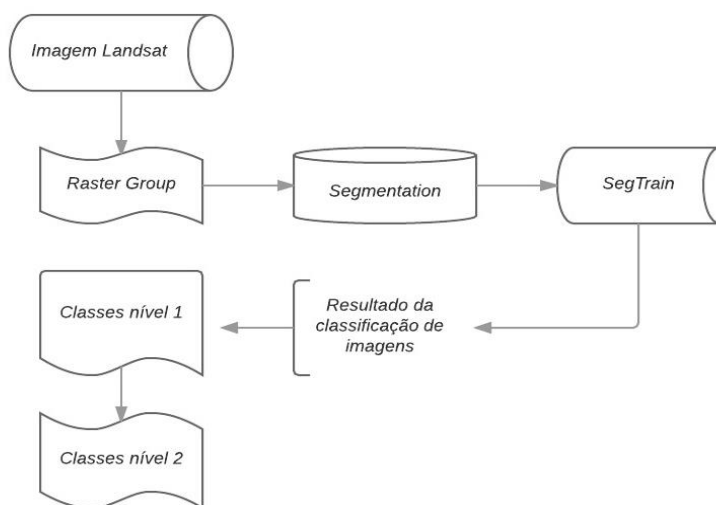


Figura 4.7 - Metodologia da classificação da imagem Landsat 5 de 1994.

As áreas de treino no processo de classificação de imagem supervisionada, permitiram fazer o uso da região como elemento básico de análise, favoreceu a extração de um conjunto de atributos, a não uniformização destes atributos, exige o uso de um algoritmo de discriminação que permite fazer a combinação dos mesmos, os atributos são examinados sequencialmente e os valores dos atributos para as regiões são comparados com limiares escolhidos a partir das amostras de treino.

O treinamento consistiu em dois passos, o primeiro tem a ver com a identificação das classes de interesse existentes na imagem segmentada, onde se faz a seleção de um conjunto de amostras representativa de cada classe, o segundo fundamentou-se na construção da árvore de decisão, que serve para guiar o processo de classificação de cada região da imagem segmentada.

Foram classificadas três imagens, as quais duas do Landsat 5 e uma do Landsat 8 de diferentes períodos 1994, 2004 e 2014, os resultados do exercício começaram a ser apresentados (Figura 4.8) essa apresentação foi feita em dois níveis, tal como referimos anteriormente, um dos níveis representa a nomenclatura da classificação em cinco (5) classes, urbano, água, vegetação, solo exposto e outros, o outro nível, representa somente as duas classes, urbano e não urbano, apresentamos o resultado da classificação da imagem do Landsat 5 do ano de 1994.

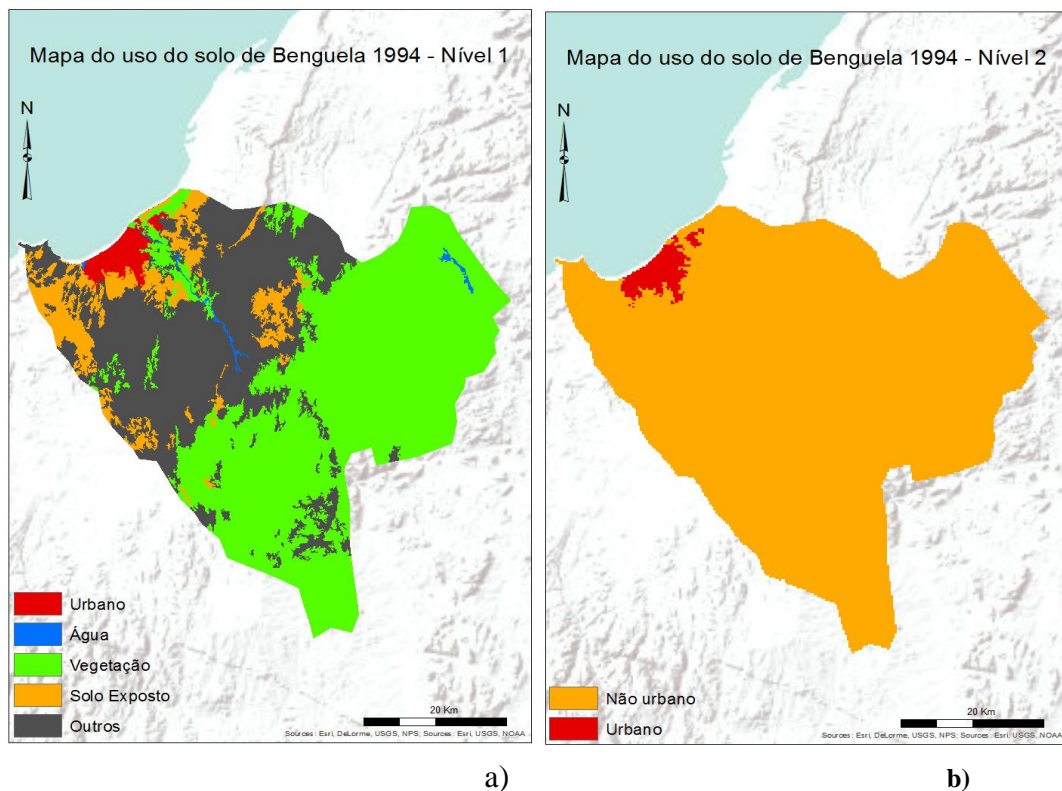


Figura 4.8 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1 (a) e 2 (b) referentes ao ano de 1994.

Procedemos a comparação das assinaturas espectrais das diferentes classes no processo de classificação, para a imagem do Landsat5 de 1994, apresentamos em máximo e mínimo (Figura 4.9).

O gráfico das assinaturas espectrais foi construído por intermédio da ferramenta *SIGCOMP*, que permite comparar as assinaturas, com esta ferramenta, é possível calcular graficamente até 15 assinaturas sobre todas as bandas de forma simultânea, ilustrando a refletividade dos objetos com cálculos mínimos, médios e máximo, permitindo detetar as assinaturas semelhantes.

A opção de parcela de caixa, é usada com a classificação de paralelepípedo e, a parcela média é usada para a distância mínima à média e a classificação de máxima verossimilhança. Com uma classificação de paralelepípedo, pelo menos, uma das bandas deve mostrar caixas totalmente separáveis entre o mínimo e máximo.

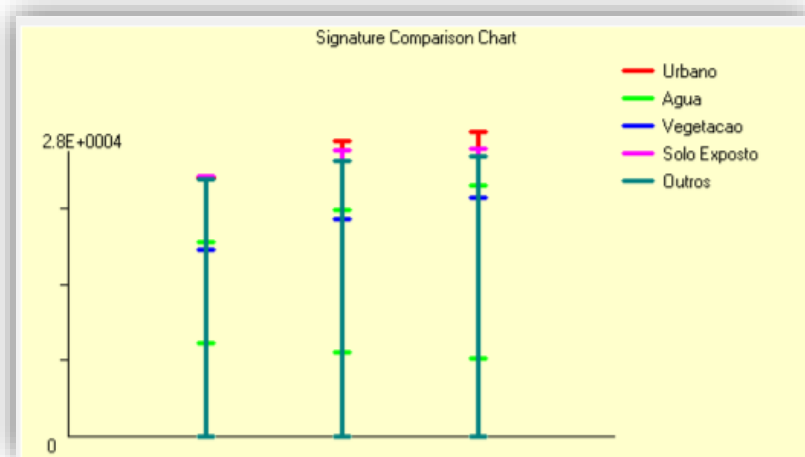
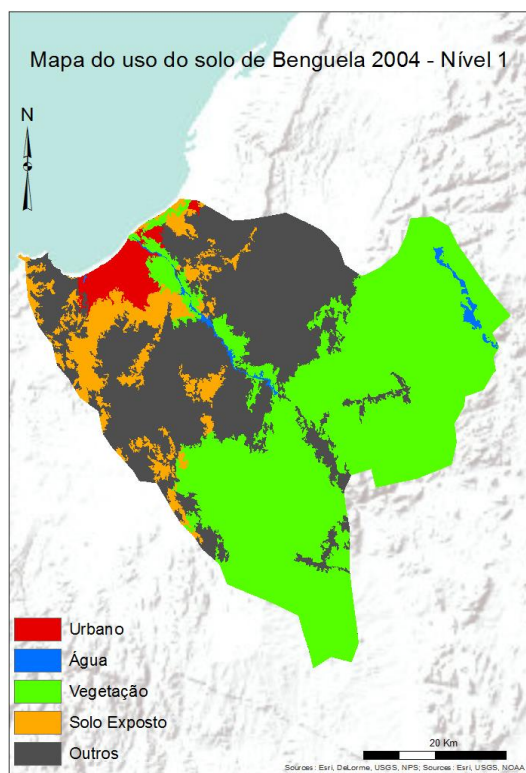


Figura 4.9 - Comparação das assinaturas das classes (1994).

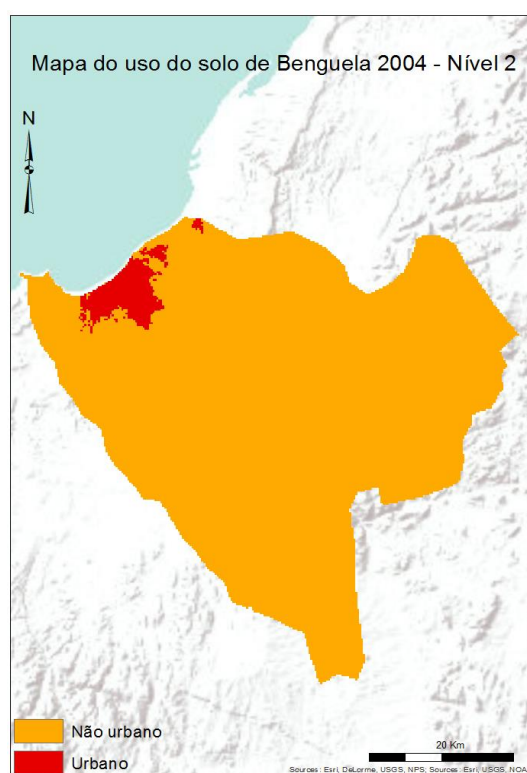
Caso contrário, existe ambiguidade na classificação, também com a distância mínima e os procedimentos de máxima verossimilhança, as parcelas médias que são quase coincidentes são difíceis de distinguir.

Do mesmo jeito, procedeu-se para a imagem landsat 5 do ano de 2004 (Figura 4.10) e landsat 8 de 2014 (Figura 4.11) a representação em dois níveis, cinco (5) classes na primeira imagem (a) e duas classes para a segunda imagem (b).

Na (Figura 4.12) é possível fazer a avaliação das assinaturas espectrais médias na imagem do Landsat 5 de 2004 e na (Figura 4.13) o máximo, médio e mínimo para 2014.

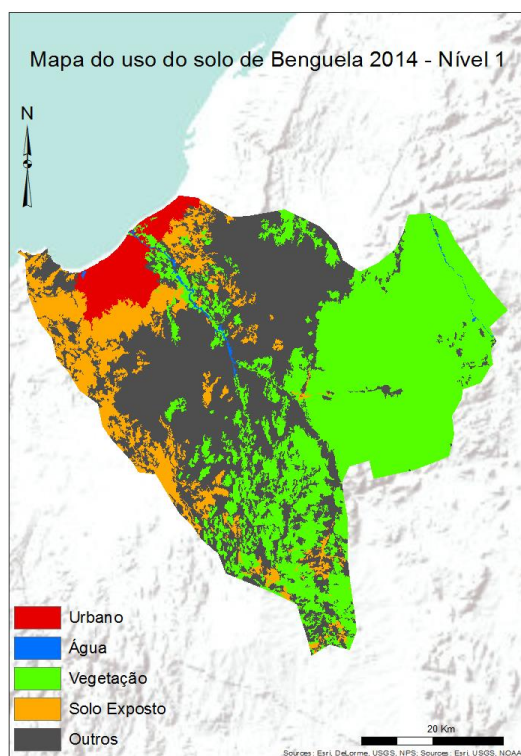


a)

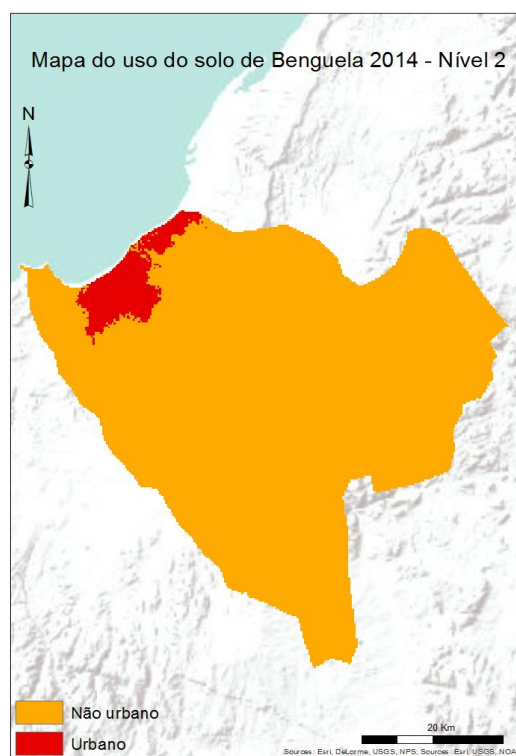


b)

Figura 4.10 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1 (a) e 2 (b), referentes a 2004.



a)



b)

Figura 4.11 - Mapas do uso do solo de Benguela, nível 1(a) e 2 (b), referentes a 2014.

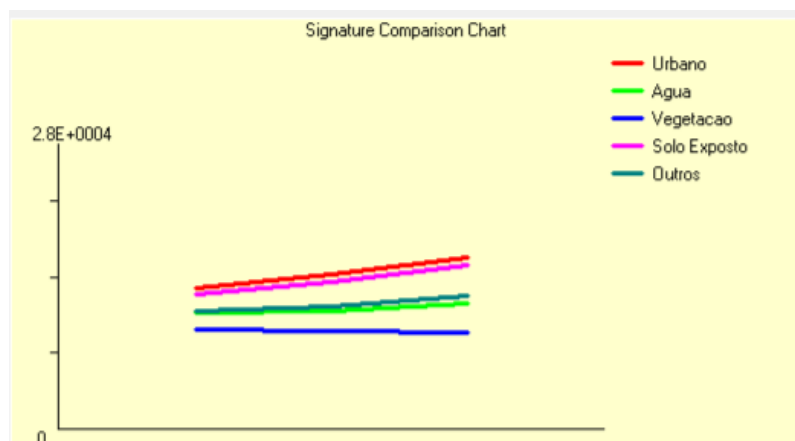


Figura 4.12 - Média das assinaturas das classes (2004).

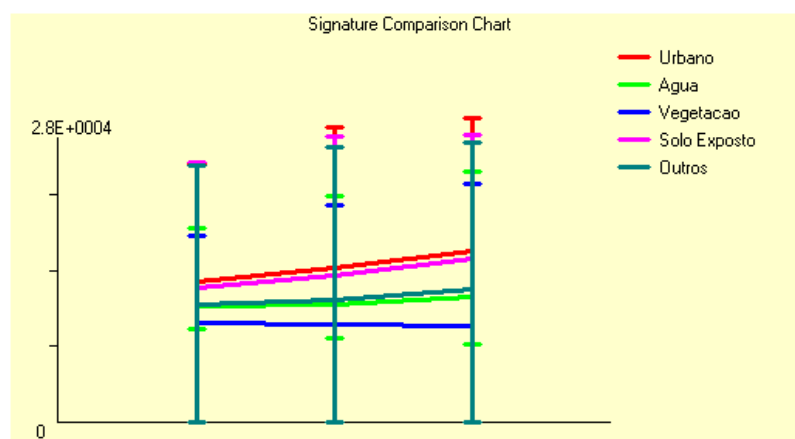


Figura 4.13 - Avaliação das assinaturas espectrais das classes (2014).

Na base dos resultados obtidos, referentes ao exercício de classificação, procedemos a representação gráfica do potencial de mudanças entre as várias classes, representando-as graficamente para melhor entender a variação da classe do uso urbano entre o período de 1994-2004 e 2004-2014. Observando a (Figura 4.14) é óbvio que as grandes alterações, são verificadas entre as classes que ocupam áreas maiores.

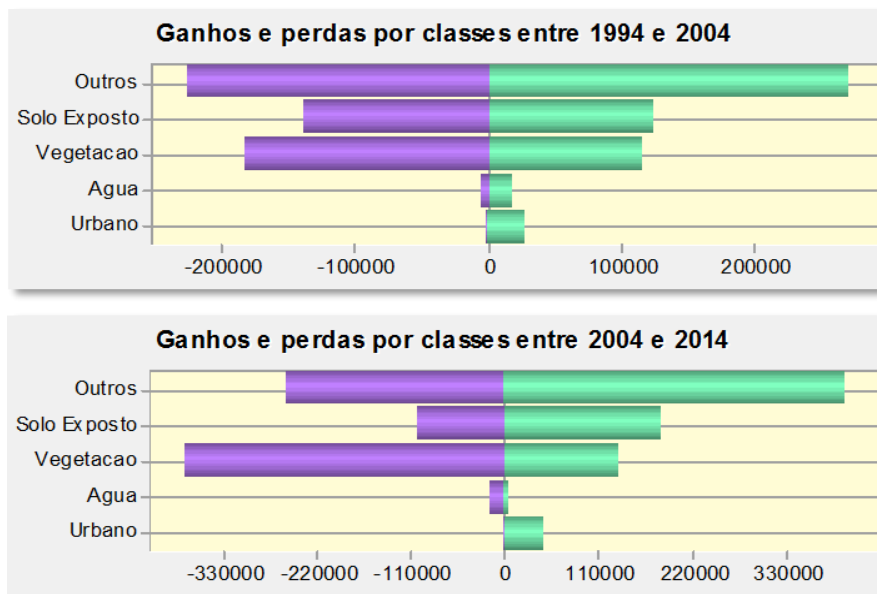


Figura 4.14 - Mudanças entre as diferentes classes (em *cell size*).

Na Figura 4.15 está feita a representação cartográfica da variação da classe urbana entre 1994-2004 e 2004-2014.

O processo de mudanças ao nível da paisagem, ocorreu de forma processual, podemos observar (Figura 4.16) a representação gráfica que apresenta os ganhos, cerca de 0,57 % de área da classe não urbano passou para a classe urbano entre 1994-2004, e entre 2004-2014, 0,83% de área não urbana, passou para urbana, os valores percentuais a partida, parecem ser relativamente insignificantes, mas no contexto da paisagem, apresentam mudanças significativas, por se tratar de uma área muito extensa.

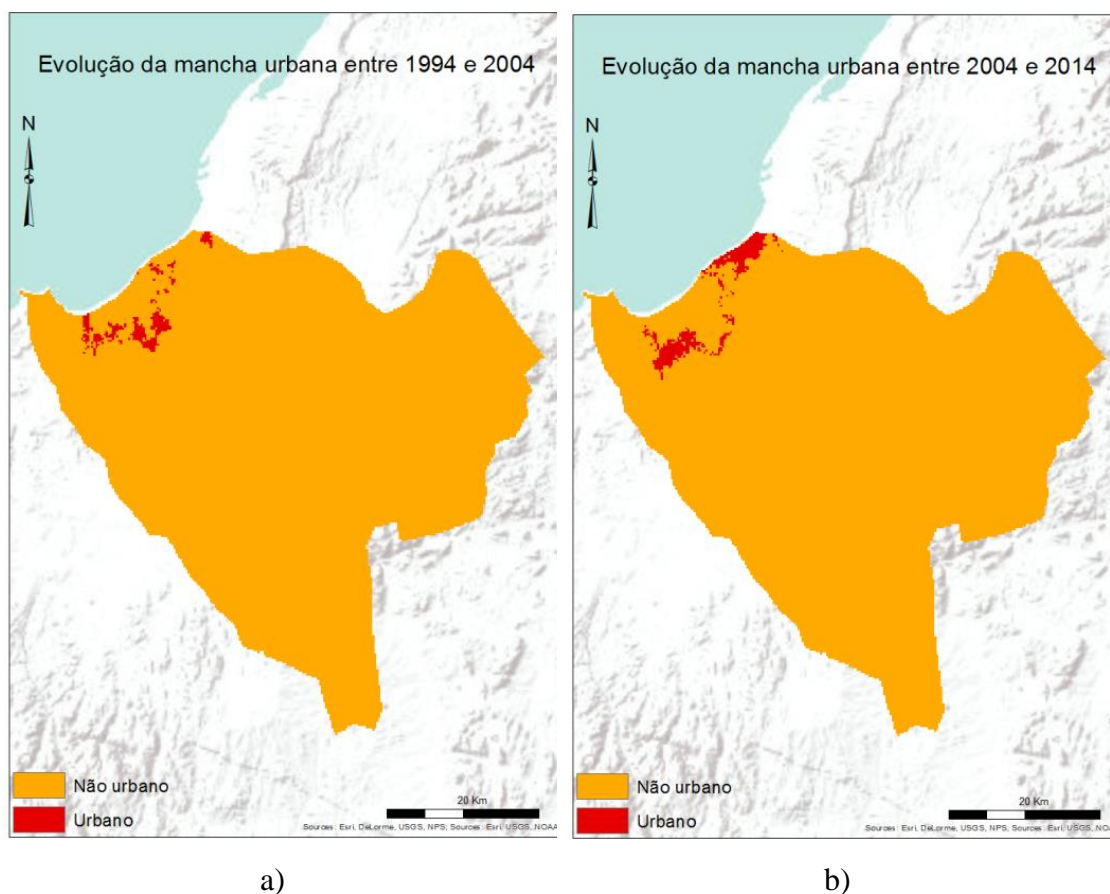


Figura 4.15 – Evolução do uso do solo urbano em Benguela (nível 2) ente 1994 e 2014.

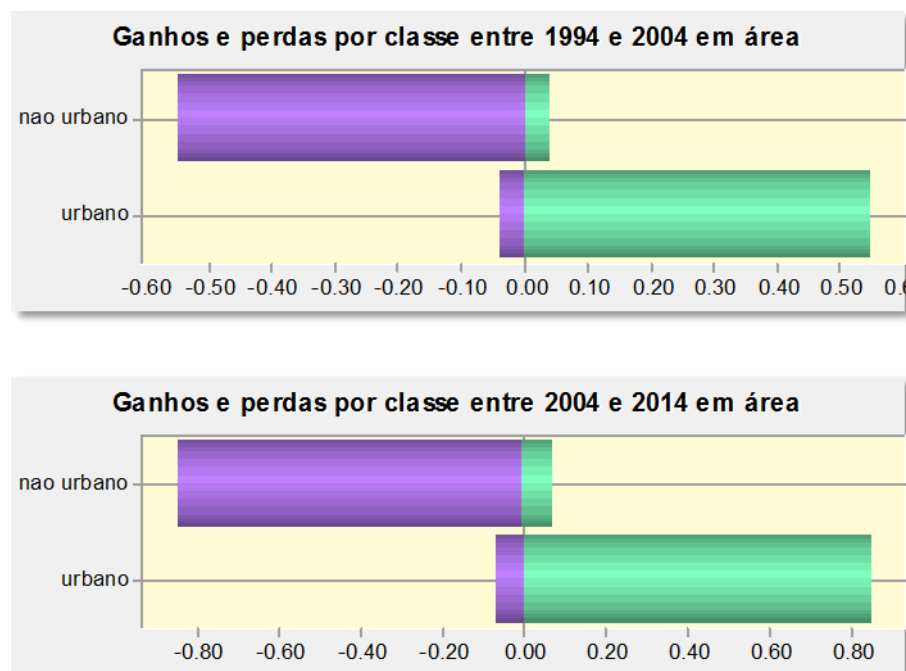


Figura 4.16 - Mudanças entre as classes urbano e não urbano por área.

Uma vez que obtivemos os mapas derivados da classificação de imagem supervisionada, foi necessário fazer avaliação da qualidade da classificação, esta avaliação, foi feita com base a uma matriz de confusão ou matriz de erro, que serviu para determinar a exatidão da classificação dos mapas, isto é, avaliar a proximidade de uma determinada medida ao seu valor real, desta feita, a confiabilidade de um mapa face aos resultados obtidos, está vinculada a sua exatidão, assim sendo, é necessário realizar algum procedimento estatístico no resultado da classificação de imagem de satélite para determinar a qualidade da mesma (Bernardes, 2006: p119).

Uma das técnicas mais utilizadas na realização de avaliação de precisão da classificação de imagens de detecção remota, é o emprego da matriz de erro, também conhecida como matriz de confusão. A matriz de confusão pode ser usada como ponto de partida para uma série de técnicas estatísticas descritivas e analíticas (Congalton, 1991: p.78).

A avaliação da exatidão da classificação, pode ser obtida por meio do coeficiente de concordância derivado da matriz de confusão, sendo que estes podem ser expressos como concordância total ou para classes individuais (Congalton, 1991: p137).

O uso do coeficiente *kappa*, é satisfatório na avaliação da precisão de uma classificação temática, pelo fato de levar em consideração toda a matriz de confusão no seu cálculo, inclusive, os elementos de fora da diagonal principal, sobre tudo aqueles que representam discordância na classificação, diferente da exatidão global, onde por exemplo, são usados os elementos diagonais (concordância real), Figueiredo e Vieira, (2007: p55).

Sugere-se que o número mínimo de amostras para cada categoria deve ser de 50 pontos, para áreas que tenham uma extensão territorial de aproximadamente 4.050 km². Além disto, sugere também que o esquema de amostragem pode seguir a combinação das amostragens aleatória e sistemática, a fim de proporcionar o melhor equilíbrio entre a validade estatística e a aplicação prática (Congalton, 1991).

A partir do resultado da classificação, fez-se o uso da ferramenta do Arcgis, *Create Random Points*, que permitiu criar uma camada de duzentos e cinquenta (250) pontos, distribuídos em cinco classes, o que permitiu fazer o cálculo da matriz de erro para avaliar a classificação, desta forma, foi possível avaliar o resultado da classificação, cria uma matriz de erro, que tabulou as diferentes classes de ocupação do solo, as quais foram atribuídas valores em função da realidade.

O resultado foi uma matriz de confusão que nos dá informação de referência, também apresenta os resultados do cálculo da exatidão do produtor, exatidão do consumidor, erro de comissão e de omissão e o índice *kappa*.

Análise da matriz de erro da classificação da imagem Landsat 5 de 1994 está expressa na Tabela 4.4.

Tabela 4.4 - Matriz de confusão da imagem Landsat 5 de 1994.

		Informação de referência						Erro/Comissão	Exati/Produt. (%)
Classes		1	2	3	4	5	Total		
Informação da classificação	Urbano	46	2	5	4	1	58	0,21	0,79
	Água	6	41	1	2	0	50	0,18	0,82
	Vegetação	3	5	35	1	1	45	0,22	0,78
	Solo Exposto	1	1	4	38	3	47	0,19	0,81
	Outros	2	3	1	2	42	50	0,16	0,84
	Total	58	52	46	47	47	250		
Erro Omissão		0,21	0,22	0,24	0,20	0,11			
Exatidão / Consumidor (%)		0,79	0,78	0,76	0,80	0,89			

A matriz de confusão é formada por um arranjo quadrado de números dispostos em linhas e colunas, que expressam o número de classes de amostras de uma categoria particular relativa, concluída por um classificador ou regra de decisão.

Normalmente, abaixo das colunas representa-se os valores relativos ao erro de omissão e a exatidão do consumidor, no extremo direito, estão apresentados os valores relativos ao erro de comissão e a exatidão do produtor, conjunto de dados de referência que são avaliados e comparados. Os elementos da diagonal principal indicam o nível de concordância entre os dois conjuntos de dados.

Uma das formas de avaliação da precisão temática, tem sido a partir dos índices derivados da matriz de confusão, tendo em conta que a matriz fornece dados que servem de base para descrever a precisão da classificação e caracterizar os erros de uma matriz de confusão, podem ser derivadas várias medidas de precisão da classificação, sendo a exatidão global uma das mais conhecidas.

As medidas derivadas da matriz de confusão são: a e exatidão global, precisão da classe individual, precisão do produtor, precisão do consumidor e índice *kappa*, entre outras. A exatidão global é calculada dividindo a soma da diagonal principal da matriz de erros pelo número total de amostras recolhidas.

A exatidão global (P_o) é a probabilidade observada tratada por:

$$Po = \frac{46 + 41 + 35 + 38 + 42}{250} = 0,80 = 80\% \quad (3.1)$$

A estatística descritiva da exatidão global atingiu a proporção de 0.80%, analisando a exatidão do produtor e a exatidão do consumidor (Tabela 4.5) constatamos que a classe com a maior percentagem quanto a exatidão do produtor é a classe que representa outros usos, onde se alcançou um índice de 84%, que é considerada como excelente (Congalton e Green, 2009).

Tabela 4.5 – Exatidão do consumidor e produtor.

	Exatidão do consumidor		Exatidão do Produtor	
Urbano	46/58	79%	46/58	9%
Água	41/52	78%	41/50	2%
Vegetação	35/46	76%	35/45	8%
Solo Exposto	38/47	80%	38/47	1%
Outros	42/47	89%	42/50	4%

Esta medida de precisão indica a probabilidade de um píxel de referência ser corretamente classificado e, é realmente uma medida de erro de comissão. Analisando a precisão do consumidor, para a mesma classe, foi alcançado um índice de 89%, a classe que representa outros usos, alcançou a maior percentagem nos dois processos, o que nos parece que é a classe, mas bem classificada.

Apesar de a classe urbana ter uma exatidão do produtor de 79%, sua precisão de consumidor também foi de 79%, portanto 79% das vezes, o classificador identificou uma área como tal, por exemplo, o consumidor deste mapa, 79% das vezes que ele visitar a área onde o mapa diz que a classe é urbano, realmente será urbano.

Já a classe da água, a exatidão do produtor foi de 79%, o que de acordo com Landis e Koch (1977) se considera muito bom. A exatidão do produtor refere-se às amostras que não foram classificadas corretamente como pertencendo aquela categoria sendo omissas de sua categoria correta (erro de omissão).

No caso da precisão de utilizador, indica a probabilidade que um píxel classificado na imagem, de facto, representa aquela categoria no campo, os erros de comissão mostram os pontos que foram indevidamente incluídos em uma determinada classe.

A medida de concordância estatística *kappa*, é aplicada a variáveis nominais, indicando o quanto os valores observados se afastam dos esperados. Assim, a probabilidade esperada (*Pe*) calcula-se pela seguinte expressão:

$$Pe = \frac{\frac{58*58}{250} + \frac{52*50}{250} + \frac{46*45}{250} + \frac{47*47}{250} + \frac{47*50}{250}}{250} = 0,20 \quad (3.2)$$

O valor de *kappa*, pode ser interpretado segundo os valores da Tabela 4.6 ⁸.

Tabela 4.6 - Qualidade da classificação associada a estatística Kappa (Landis e Koch, 1977).

Valor de kappa	Concordância
<0,00	Péssima
0 – 0,20	Mal
0,21 – 0,40	Razoável
0,41 – 0,60	Boa
0,61 – 0,80	Muito Boa
0,81 – 1	Excelente

O índice de *Kappa*, pode ser entendido como um coeficiente de concordância dos julgamentos de dois juízes para dados nominais, em alternativa aos coeficientes de fidelidade existentes para os dados em escalas de magnitude. Atualmente o coeficiente de *kappa* continua a ser amplamente utilizado, sendo os pressupostos básicos apresentados pelo autor para o seu cálculo (Cohen, 1960: p.37).

O índice *Kappa* obtido foi de 69%, desta forma podemos considerar ser uma avaliação muito boa de acordo com a tabela de referência de (Lands e Koch, 1977).

$$\text{Índice kappa} = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} = \frac{0,80 - 0,20}{1 - 0,20} = 0,75 \quad (3.3)$$

⁸ <http://users.med.up.pt/joakim/intromed/estatisticakappa.htm> (Acedido em 01/01/2017).

A matriz de confusão da classificação da imagem do Landsat 5 de 2004 encontra-se disponível na Tabela 4.7.

Tabela 4.7 - Matriz de confusão da classificação imagem Landsat 5 de 2004.

Classes		Informação de referência						Erro/Comissão	Exatidão Produt.(%)
		1	2	3	4	5	Total		
Informação da classificação	Urbano	47	5	3	6	3	64	0,27	0,73
	Água	2	31	6	0	1	40	0,23	0,78
	Vegetação	3	5	45	1	9	63	0,29	0,71
	Solo Exposto	1	1	1	29	3	35	0,17	0,83
	Outros	3	1	6	7	31	48	0,35	0,65
	Total	56	43	61	43	47	250		
Erro Omissão		0,16	0,28	0,26	0,33	0,34			
Exatidão / Consumidor (%)		0,84	0,72	0,74	0,67	0,66			

E a probabilidade esperada (Pe) é de:

$$Pe = \frac{\frac{56 * 64}{250} + \frac{43 * 40}{250} + \frac{61 * 63}{250} + \frac{43 * 35}{250} + \frac{47 * 48}{250}}{250} = 0,21 \quad (3.4)$$

Por sua vez, a exactidão global corresponde a:

$$Po = \frac{47 + 31 + 45 + 29 + 31}{250} = 0,73 = 73\% \quad (3.5)$$

$$\text{Índice kappa} = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} = \frac{0,73 - 0,21}{1 - 0,21} = 0,65\% \quad (3.6)$$

Avaliação da matriz de confusão da classificação da imagem do Landsat 8 de 2014 (Tabela 3.5.6).

Tabela 4.8 - Matriz de confusão da classificação da imagem Landsat 8 de 2014.

Classes		Informação de referência						Erro/Comissão	Exatidão Produt (%)
		1	2	3	4	5	Total		

Informação da classificação	Urbano	50	3	4	7	3	67	0,25	0,75
	Água	1	27	6	1	1	36	0,25	0,75
	Vegetação	2	5	37	4	2	50	0,26	0,74
	Solo Exposto	3	1	1	35	3	43	0,19	0,81
	Outros	1	4	3	7	39	54	0,28	0,72
	Total	57	40	51	54	48	250		
Erro Omissão		0,12	0,33	0,27	0,35	0,19			
Exactidão / consumidor (%)		0,88	0,68	0,73	0,65	0,81			

$$Pe = \frac{\frac{57*67}{250} + \frac{40*36}{250} + \frac{51*50}{250} + \frac{54*43}{250} + \frac{48*54}{250}}{250}$$

$$Pe \text{ (probabilidade esperada)} = 0,20 \quad (3.7)$$

$$Po = \frac{50 + 27 + 37 + 35 + 39}{250} = 0,75 = 75\% \quad (3.8)$$

$$\text{Exactidão global} = 75\%$$

$$\text{Índice kappa} = \frac{Po - Pe}{1 - Pe} = \frac{0,75 - 0,20}{1 - 0,20} = 0,68\% \quad (3.9)$$

Uma vez que para construção da matriz de erro das três imagens usou-se a mesma metodologia, achamos por bem construir uma tabela com todos os valores achados, de modo a facilitar a comparação dos resultados do processo de classificação das três imagens usadas para este exercício, conforme a tabela abaixo.

Tabela 4.9 - Comparação dos valores achados com base ao matriz de confusão.

Resultados da matriz de erro da imagem Landsat 5 de 1994							
Classe	Exatidão do Produtor %	Erro de Comissão	Exatidão do Consumidor %	Erro Omissão	Probabilidade e Esperada %	Exatidão global %	Índice Kappa %
Urbano	0,79	0.21	0,79	0.21	0,20	0,80	0,75
Água	0,82	0.18	0,78	0.22			
Vegetação	0,78	0.22	0,76	0.24			
Solo Exposto	0,81	0.19	0,80	0.20			
Outros	0,84	0.16	0,89	0.11			
Resultados da matriz de erro da imagem Landsat 5 de 2004							
Classe	Exatidão do Produtor %	Erro de Comissão	Exatidão do Consumidor %	Erro Omissão	Probabilidade e Esperada %	Exatidão global %	Índice Kappa %
Urbano	0,73	0,27	0,84	0.16	0,21	0,73	0,65
Água	0,78	0,23	0,72	0.28			
Vegetação	0,71	0,29	0,74	0,26			
Solo Exposto	0,83	0,17	0,67	0.33			
Outros	0,63	0,35	0,66	0.34			
Resultados da matriz de erro da imagem Landsat 8 de 2014							
Classe	Exatidão do Produtor %	Erro de Comissão	Exatidão do Consumidor %	Erro Omissão	Probabilidade e Esperada %	Exatidão global %	Índice Kappa %
Urbano	0,75	0,25	0,88	0,23	0,20	0,78	0,68
Água	0,75	0,25	0,68	0,22			
Vegetação	0,74	0,26	0,73	0,16			
Solo Exposto	0,81	0,19	0,65	0,21			
Outros	0,72	0,28	0,81	0,23			

Finalmente depois de todos os calculos feitos, podemos ver que os valores obtidos nos três processos de avaliação da matriz de erro da classificação das imagens seleccionadas para o exercício, não diferem muito uns dos outros, segundo os números, indicam a imagem do Landsat 5 do ano de 1994 com melhores resultados.

4.6 - Simulação do crescimento urbano

O processo de simulação do crescimento urbano, tem como finalidade a construção de modelos preditivos baseado em cenários, para antever ou predizer futuras mudanças que poderão ocorrer na paisagem.

A cidade de Benguela encontra-se diante de um fenómeno territorial com alguma complexidade, face ao estado de ocupação ocorrida ao longo dos tempos, por outro lado,

trata-se de uma cidade com tendências económicas visíveis, face às infraestruturas existentes, nomeadamente o caminho de ferro de Benguela, proximidade ao aeroporto internacional de Catumbela, ao porto do Lobito, à futura refinaria petrolífera e o fácil acesso a outras cidades importantes do país, pressupõe-se que essas infraestruturas, estimulam qualquer tendência de aceleração do crescimento urbano.

Os modelos de simulação de expansão urbana, são importantes devido a sistemática de factores envolventes para prever o futuro a longo prazo, também pelo facto de poderem contribuir nas decisões sobre a distribuição e gestão sustentável dos recursos num determinado espaço temporal.

A partir dos resultados obtidos na etapa de classificação de imagens, basicamente os resultados que representam às áreas das classes urbanas, entre os anos de 1994, 2004 e 2014, se fez a construção de um gráfico de tendência do crescimento urbano (Figura 4.17) e, o mapa urbano de 2014, foi usado para criar o mapa de tendência de crescimento urbano (Figura 4.18) no sentido de avaliar e perceber a forma como se desenvolveu a mancha urbana da cidade durante o período acima referido e, prever a possível tendência do crescimento urbano no futuro.

No tratamento das variáveis incluídas no modelo, nomeadamente a rede viária, declives e distâncias aos centros urbanos, a ponderação feita, foi com base a lógica *fuzzy* (0 e 1) valor 1 representa as áreas de interesse e 0 para o que não interessa, os mapas derivados da classificação, foram reclassificados em duas classes, nomeadamente urbano (1) e não urbano (0).

A lógica *fuzzy* trata de valores que variam entre 0 e 1, assim uma pertinência de 0.5 pode representar meio verdade, logo 0,9 e 0,1, representam quase verdade e quase falso, respetivamente, com a necessidade de lidar com a complexidade dos problemas, a teoria da probabilidade era usada com sucesso em muitas áreas das ciências (Silva, 2005).

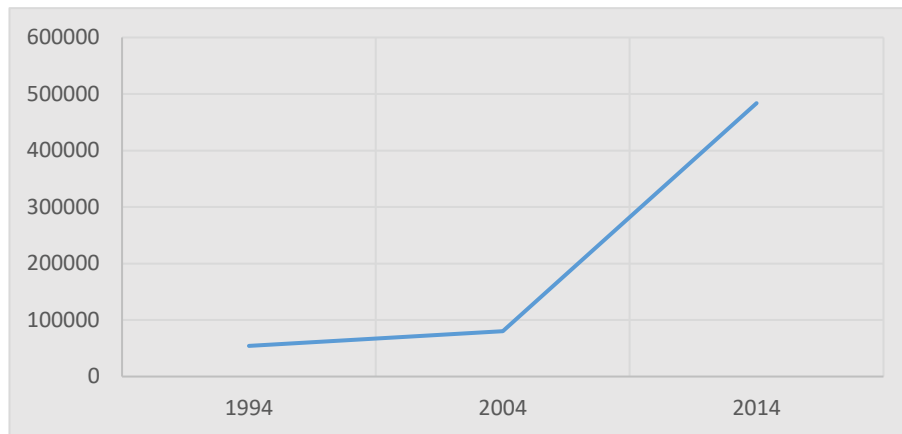


Figura 4.17 - Gráfico de tendência do crescimento urbano.

A possível tendência espacial de mudanças de um estado para outro, não urbano para urbano em paisagens dominadas pela intervenção humana, passa por um processo de grande complexidade e, portanto é muito difícil de explicar, o *software* dispõe de uma ferramenta *Trend*, que garante a possibilidade de mapear possíveis tendências de crescimento urbano, no entanto é um cálculo executado por intermédio de fórmulas polinomiais, de maneira a conhecer as novas tendências de crescimento da paisagem em termos de mudanças (Figura 4.18).

A intenção deste módulo é fornecer um meio de generalização sobre o padrão de mudança, os valores numéricos, não têm qualquer significado especial, mas a superfície é criada pela codificação de áreas de mudança com valor 1 e áreas sem mudança com valor 0, tratando-as como se fossem valores quantitativos.

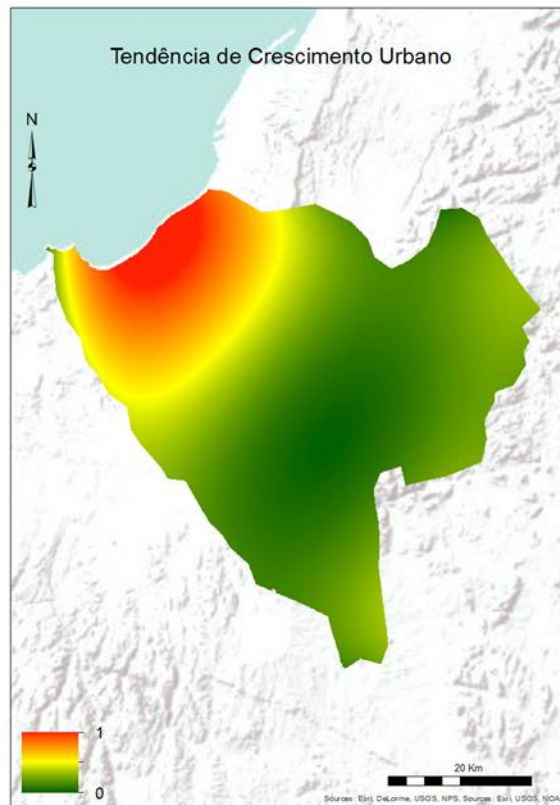


Figura 4.18 - Mapa de tendência de crescimento urbano.

Entre os vários modelos de simulação de expansão urbana atualmente empregues para estudos preditivos de construção de cenários urbanos, destaca-se os AC, que estão a ser amplamente utilizados nos processos de simulação de crescimento urbano, pelo facto de gerarem óptimos resultados, mas põe em questão o modo de calibração para uma previsão confiável (AlKheder *et al.* 2006).

Já que nos modelos AC prevalece alguma sencibilidade ao definir as regras de transição e os valores dos parâmetros, presupõe-se que a calibração dos mesmos, deve ser feita cuidadosamente de modo a encontrar ou ajustar os melhores valores nas regras de transição, para reproduzir o mesmo padrão urbano que foi obtido a partir dos dados de entrada.

O algoritmo dos AC fundamenta-se em definir as regras de transição ligadas ao crescimento urbano, entretanto a calibração das regras, vai definir a probabilidade de mudança do estado do píxel de um período para outro. Neste caso, a previsão para o crescimento urbano, dependerá de três fatores: (i) o estado atual do píxel, (ii) do estado atual de píxeis vizinhos, e (iii) regras de transição que regem, essas regras de transição,

foram concebidas para identificar o nível necessário para determinar o estado de mudança de um píxel no processo de vizinhança.

Se o píxel que estiver a ser transformado representa a classe da água, então para que ocorra mudanças, o píxel que pertence a uma das classes que tende a mudar para um outro estado, é alterado desde que a densidade de população é maior do que ou igual ao limiar (P) e, o número de píxeis vizinhos seja maior do que ou igual ao limiar (R) é um número inteiro que varia de 0-8 (3x3) e P representa um número real que vai 0-1 (Alkheder et al., 2006).

Da imagem do Landsat 5 de 1994 classificada como a mais antiga, foi retirada a classe urbana que foi usada para o modelo de AC como primeiro ficheiro de entrada, neste caso, as regras de transição aplicadas começaram propriamente naquele período. Fez-se a modelação da transição entre o ano de 1994 e 2004, para obtenção do mapa do potencial de transição que permitiu fazer a previsão para o crescimento urbano para o ano de 2014.

O mapa foi criado por meio da ferramenta *transitional potential maps* do Idrisi Selva, existe três metodologias fornecidas para essa modelação: (i) por intermédio do *Perceptron Multi-Layer* (MLP), (ii) por meio do *Similarity-Weighted Instance- based Machine Learning* (SimWeight) e (ii) pela Regressão Logística (RL).

Uma das características que torna essas ferramentas diferentes umas das outras, é que a ferramenta MLP, pode executar várias transições até nove (9) por submodelo, enquanto o *SimWeight* e Regressão Logística só podem executar uma transição por submodelo. Por outra, o MLP pode modelar transições múltiplas que são agrupadas em um submodelo comum a partir do *sub-modelo Transition*, inicialmente o diálogo para a rede MLP pode parecer assustadora, mas a maior parte dos parâmetros apresentados, não precisam ser modificados para fazer o uso desta técnica poderosa.

Ambas as ferramentas (MLP e SimWeight) usam metade das amostras, 50% dos píxeis para o treinamento e o restante para validação do modelo, o MLP gera associações de classes previstas para cada um dos píxeis de validação em cada iteração, relata a precisão agregada, bem como uma pontuação de habilidade.

A pontuação de habilidade representa a diferença entre a precisão calculada, usando os dados de validação e a exatidão esperada, como se alguém estivesse aleatoriamente adivinhando às associações da classe dos píxeis de validação.

O *SimWeight* calcula o potencial médio de transição entre os píxeis de validação que foram alterados e o potencial de transição médio entre os píxeis que não mudaram,

estes expressam a taxa de acertos e a taxa de falsos alarmes respectivamente, a diferença entre eles rende a pontuação de habilidade, valor na ordem de 0 e 1.

Durante o exercício, ao calcular o potencial de transição, às amostras utilizadas para o processo de treino são tiradas de píxeis que não sofreram transição. O *Land Change Modeler* lança MLP em um modo de treinamento automático especial, este modo automático, monitora e modifica as taxas de aprendizagem inicial e final como parte de um procedimento de aprendizagem dinâmico usando os dados de treinamento de amostragem.

O procedimento começa com as taxas iniciais de aprendizagem do início ao fim, e reduz essas taxas pela metade, se as oscilações significativas no RMS forem detetadas nas primeiras cem (100) iterações, o processo é reiniciado, todos os outros parâmetros do MLP são usados pelo *Land Change Modeler* em seus valores padrão, o LCM aplica modificações especiais às saídas, o modelador de mudanças do uso do solo, mascara-se fora dos potenciais de transição de todos os casos que não correspondem ao caso de qualquer transição específica.

A ponderação das respectivas variáveis (Figura 4.19) foi feita baseando na lógica *fuzzy*, tendo em consideração que a possível extensão urbana da cidade, está em perspectiva de continuidade, tendo como os principais vetores, a rede viária e áreas não urbanas, portanto introduziu-se como regras de transição as seguintes: distâncias à rede viária melhor, declives muito elevados são menos favoráveis, distância aos centros urbanos já existentes melhor.

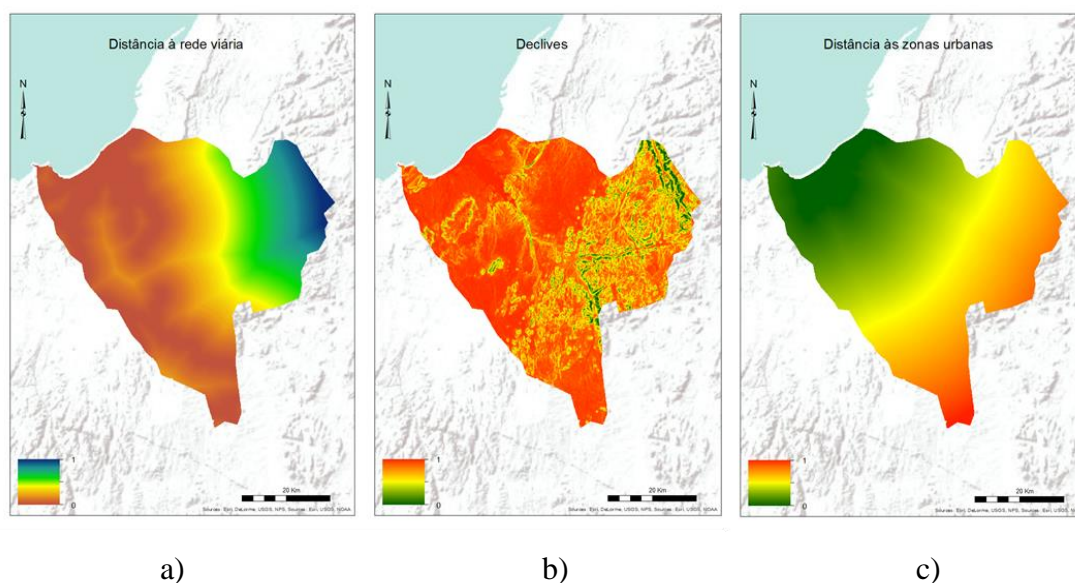


Figura 4.19 - Variáveis usadas no modelo LCM para simulação.

Por exemplo, se a transição que se estiver a modelar for de um tipo de uso que corresponde a vegetação, ao mudar para um outro tipo de uso, os valores de saída nos mapas de potencial de transição, só existirão nas áreas que representam a vegetação, o mesmo se aplica no caso concreto deste exercício, vesse que no mapa de potencial de transição os valores estão presentes unicamente na área da classe não urbano, portanto é nesta área aonde irá ocorrer as principais transformações, ou mudanças entre as duas classes em análise, como se observa no mapa do potencial de transição entre a classe não urbano e urbano do ano de 1994-2004 (Figura 4.20).

Uma vez que se tem o mapa do potencial de transição para o ano de 1994-2004, com as restantes variáveis, nomeadamente os mapas das distâncias às zonas urbanas, declives e as distâncias à rede viária respetivamente, considera-se que essas variáveis constituem as três variáveis principais que podem influenciar de forma positiva a construção do modelo de crescimento urbano.

Para simulação do crescimento urbano para 2014, começamos por considerar os dados do período de 1994 e 2004, esses dois mapas de uso do solo, foram as principais variáveis determinantes para simulação do crescimento urbano para o ano de 2014.

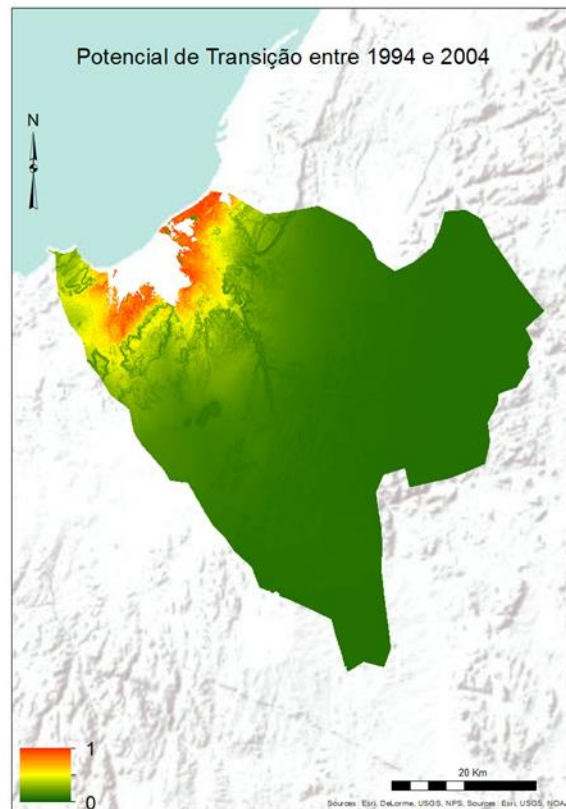


Figura 4.20 - Potencial de transição da classe não urbano a urbano entre 1994 e 2004.

Antes de correr o modelo, as variáveis de distância à zonas urbanas, declives e a distância à rede viária, foram postas numa avaliação de correlação, para perceber até que ponto podem ou não influenciar o modelo, esta é uma operação importante, pelo facto de proporcionar um teste rápido do poder explicativo do potencial de uma variável, é um teste muito difícil e não reconhece efeitos de interação, em caso de se estar a fazer o uso da ferramenta de modelação *Perceptron Multi-Layer*, há um procedimento de avaliação muito mais forte que foi incorporado no processo de desenvolvimento do modelo (Tabela 4.10).

As variáveis quantitativas e qualitativas podem ser testadas, nota-se, entretanto que as variáveis qualitativas precisam ser divididas em um conjunto de camadas booleanas separadas ou transformadas, verifica-se que as variáveis apresentam um determinado valor, quando for de 0,15 ou superior, então considera-se que a variável é útil para o modelo, enquanto as que têm valores de 0,4 ou mais são boas.

Tabela 4.10 - Indicador da correlação das variáveis.

		Urbano	Não Urbano	Global
Declives	V de <i>Cramer</i>	0,0000	0,2190	0,1549
	P-Valor	1,0000	0,0000	0,0000
Distância ao Urbano (1994)	V de <i>Cramer</i>	0,0000	0,8376	0,5923
	P-Valor	1,0000	0,0000	0,0000
Distância às Estradas	V de <i>Cramer</i>	0,0000	0,3496	0,2472
	P-Valor	1,0000	0,0000	0,0000
Potencial de transição	V de <i>Cramer</i>	0,0000	0,7841	0,5545
	P-Valor	1,0000	0,0000	0,0000

O procedimento de teste das respectivas variáveis, baseou-se em uma análise de tabela de contingência, nas variáveis qualitativas, aplicam-se as categorias nativas da variável para testar a associação com a distribuição do uso do solo no mapa posterior. No caso das variáveis quantitativas, são agrupadas em 256 categorias para realizar este teste.

A medida quantitativa da associação utilizada em *V de Cramer*, quando alta, indica que o valor explicativo potencial da variável é bom, mas não garante um forte desempenho, uma vez que não se pode explicar os requisitos matemáticos da abordagem da modelação utilizada, no entanto é uma boa indicação de que uma variável pode ser descartada se o *V de Cramer* for muito baixo ou baixo.

No *Change Demand Modeling*, o LCM permite determinar a quantidade de alteração que ocorrerá em algum momento no futuro, usando o processo de previsão da cadeia de *Markov* ou um modelo especificado pelo usuário.

A cadeia de *Markov* estabelece que num conjunto de estados discretos, o futuro só depende do estado presente, ou seja, os estados anteriores são irrelevantes para a predição dos estados futuros, desde que haja um estado inicial presente que sirva como ponto de partida (Norris, 1998: p.3).

Em termos de probabilidades, uma cadeia de *Markov*, apresenta tempo discreto com espaço de estados S é um processo estocástico $\{X_n\} n \in T$, onde $T = \{0, 1, 2, \dots\}$, tal que se verificam as seguintes propriedades:

- Para qualquer $i \in S$ tem-se: $P(X_0 = i) = P_i$.

- Para quaisquer $i, j \in S$, e $n \in T$: $P(X_{n+1}=j | X_n=i) = P_{ij}$.

- Para quaisquer $n \in T$ e $i_0, i_1, \dots, i_{n-1}, i, j \in S$, vale a condição: $P(X_{n+1}=j | X_n=i, X_{n-1}=i_{n-1}, \dots, X_0=i_0) = P(X_{n+1}=j | X_n=i)$.

No caso $X_n = i$, diz-se que o processo no instante n está no estado i . Em especial, a terceira propriedade nos diz que dado o presente (X_n), o futuro (X_{n+1}) e o passado (X_0, X_1, \dots, X_{n-1}) são independentes.

O procedimento padrão da cadeia de *Markov*, determina a quantidade de alteração usando os mapas de uso do solo das duas datas, isto é, o anterior e o posterior, especificando a possível data que se deseja simular.

O procedimento vai determinar ou quantificar o que podia mudar a partir da data posterior, para a data de previsão com base em uma projeção dos potenciais de transição para o futuro, este processo cria um arquivo de probabilidades de transição, onde é indicado a probabilidades de transição, e uma matriz que regista a possibilidade de uma classe mudar para outra e vice-versa (Tabela 4.11).

Tabela 4.11 - Probabilidade de transição.

	Urbano	Não Urbano
Urbano	0,9629	0,0371
Não Urbano	0,0107	0,9893

É no modulo *Run Transition Sub-Model* (Figura 4.21) onde é feita a modelação real dos submodelos, este painel, executa o submodelo de transição, especificado na caixa de combinação a ser avaliada no painel submodelos de transição, normalmente para modelar transições com o MLP, deve-se ter a estrutura do submodelo de transição totalmente preenchida, antes de executar o modelo, para fins de treinamento e validação, o MLP exige por exemplo, píxeis que passaram por cada uma das transições, baseados em duas datas de informação relativamente ao uso do solo.

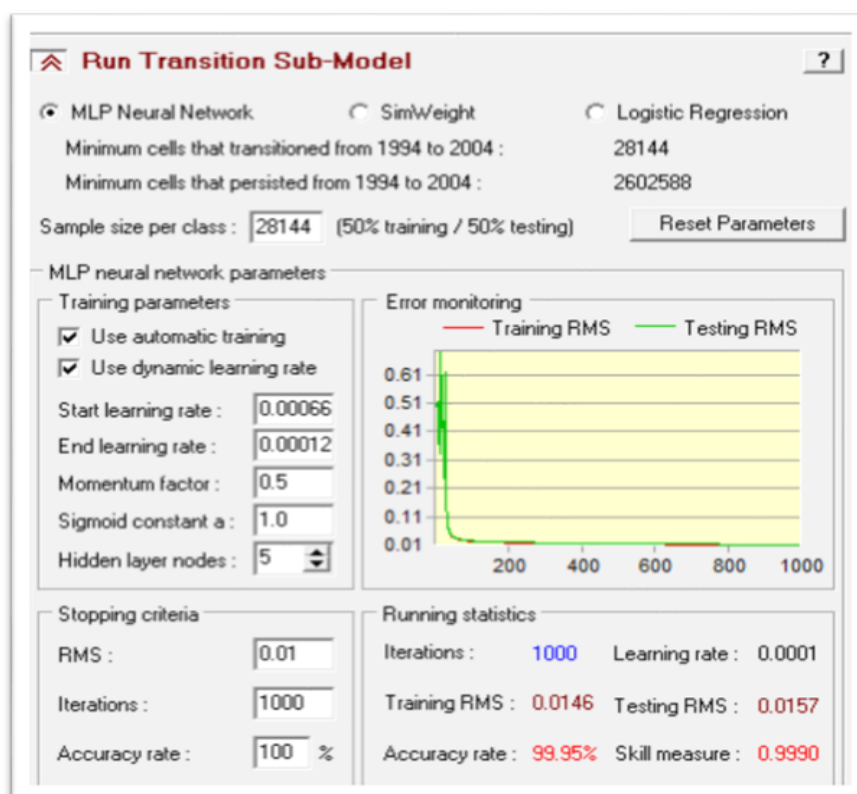


Figura 4.21 - Execução do potencial de transição.

É necessário que se tenha as classes de persistência, píxeis que foram elegíveis para passar por uma das transições, é ideal que um determinado número de píxeis deve representar cada uma das amostras, o MLP determina o número de píxeis que passaram pela modelação de transição, bem como o número mínimo que persistiu.

Por definição, o tamanho da amostra é definido para ser igual ao menor número de píxeis que fizeram a transição de uma categoria para outra, a menos que este número exceda 10.000 (valor definido pelo *software*) uma vez que essa medida é geralmente mais do que suficiente.

Normalmente é importante que se faça o uso do tamanho da amostra sugerido por definição ou um valor menor, desta forma, todas as amostras terão o mesmo tamanho e, será possível introduzir um tamanho de amostra maior, mas para tal, terá de utilizar inúmeras amostras até chegar a quantidade sugerida.

Geralmente não é recomendável definir o tamanho das amostras, de formas a ser maior em relação a classe de transição mínima, pois que isso leva a um procedimento de treinamento desequilibrado e pode afetar o desempenho do modelo.

O MLP usa sempre metade das amostras, especificadas para treinamento e a parte restante para testes, deste modo, o tamanho de amostras ímpares, são alterados internamente para o próximo número par inferior, desta feita, no caso de especificar um tamanho de amostra de oitocentos (800) píxeis, o MLP selecionará quatrocentas 400 amostras para treino e mais 400 amostras para testes.

O mais difícil de configurar é o número de nós da camada oculta e a taxa de aprendizagem, o MLP usa um algoritmo para definir o número de nós da camada oculta, usualmente essa fórmula funciona bem, mas é necessário experimentar outros padrões no modelo, também se sugere, que sejam duplicados com a probabilidade de melhorar a precisão de forma substancial.

Com os parâmetros pré-definidos, o MLP ajusta a sua própria taxa de aprendizagem automaticamente, no entanto, se o gráfico de erro mostrar linhas planas que não estão em declínio desde o início, deve-se interromper o treinamento e reduza as taxas de aprendizagem inicial e final pela metade, em um caso ideal, o gráfico RMS de teste e treinamento descem suavemente e se tornam assintóticos ao eixo X.

O painel de mudanças permite que o processo de simulação do crescimento urbano, pode ser processado tendo em conta ao desenvolvimento rodoviário dinâmico, mudança de infraestrutura, incentivos e restrições à previsão. Deve-se especificar o número de estágios de recálculo e a frequência que as variáveis dinâmicas serão recalculadas, em função da data de previsão que é especificada, tendo em conta a data da imagem do uso do solo anterior, nesse processo, o número de estágios de recálculo dita a frequência com a qual, os elementos dinâmicos são recalculados em cada estágio, o que produz dois tipos de variáveis *soft* e *hard*.

A previsão *hard* é sempre criada pelo *software*, ao optar por produzir uma previsão *soft*, existe opções para o tipo de agregação dos potenciais de transição, bem como a seleção das transições para realizar a agregação com os potenciais de transição associados.

Ao optar por criar uma previsão *soft*, tem que se definir o tipo de agregação dos potenciais de transição, entre o *maximum* ou *logical OR*.

Na previsão *hard* o resultado produzido, resume-se a um mapa de uso e ocupação do solo com as mesmas categorias que às entradas, o processamento, é baseado em um modelo competitivo de alocação de terras, semelhante há um processo de decisão multiobjectivo.

A previsão *soft* é um processo contínuo da vulnerabilidade, à mudança para o conjunto selecionado de transições, não é explícita, mas sim, o grau com que as áreas têm condições certas para despenhar mudança.

Portanto para a simulação da expansão urbana para 2014, tendo em conta as questões abordadas anteriormente, optamos por uma previsão *hard*, uma vez que nos devolve um resultado de igual categoria com as variáveis de entrada (Figura 4.22).

Em seguida, de modo a avaliar a qualidade do mapa, usou-se o painel de validação que permite determinar a qualidade do mapa de uso resultante da previsão para 2014, isso em relação a um mapa já existente, que neste caso é o mapa do ano de 2014, resultante do processo de classificação de imagem supervisionada.

Este processo é feito por intermédio do um *cross tabulation*, onde é incorporado três variáveis, isto é o mapa do *landcover* o mapa da predição de 2014, e o mapa real de 2014 (Figura 4.23) representa a imagem de saída com a precisão dos resultados do modelo onde:

- A | B | B = Acerto (verde) - Modelo de mudança prevista e que mudou;
- A | A | B = Falha (vermelho) - Modelo de persistência prevista e que mudou;
- A | B | A = Falso Alarmes (amarelo) - Modelo de previsão de mudança e que persistiu.

A ferramenta *VALIDATE* calcula vários índices *Kappa* de concordância e estatísticas que indicam quão bem o mapa de comparação concorda com o mapa de referência, essas estatísticas podem ser calculadas para resoluções adicionais, onde cada resolução é criada agregando píxeis vizinhos em uma grade cada vez mais extensa.

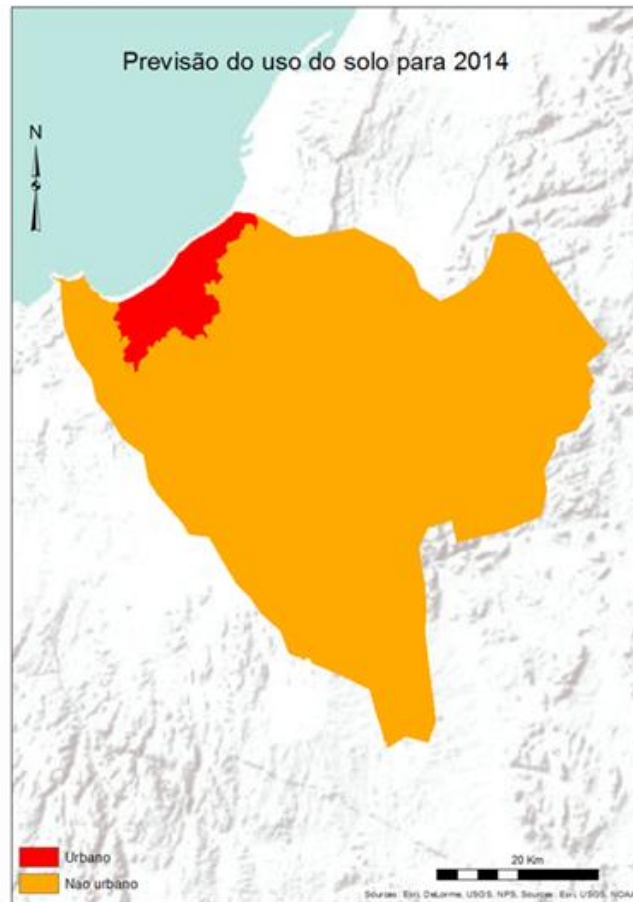


Figura 4.22 - Simulação do uso e ocupação do solo para 2014.

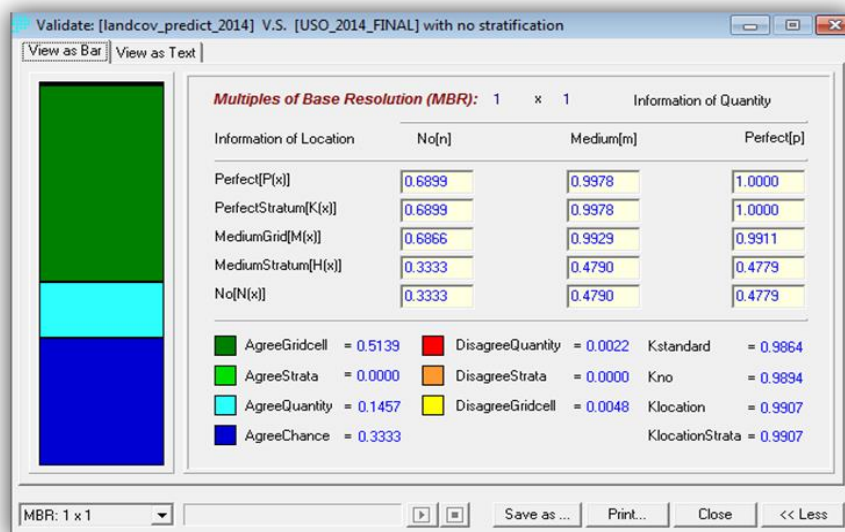


Figura 4.23 - Módulo *validate*.

Na matriz acima representada, as expressões; $M(x)$, $K(x)$ significa informação de nível de célula da grelha perfeita; $P(x)$ significa informação de nível de célula da grelha perfeita através da paisagem; $N(n)$ é o acordo entre a referência e um mapa que tem uma associação de $1/J$ para cada categoria em cada célula da grelha, onde J é o número total de categorias na análise; $M(m)$ é a proporção de células da grade classificadas corretamente, é a medida mais usada de concordância entre os mapas e $P(p)$ é acordo perfeito, é o acordo entre o mapa de referência e um mapa que tem informações perfeitas de quantidade e localização, portanto o valor de $P(p)$ é sempre 1.

Acordo da classificação, a matriz de validação forneceu vários parâmetros calculados, entre os quais, a chance de concordância (*Agreement Chance*), quantidade do contracto (*Agreement Quantity*), extrato de acordo (*Agreement Strata*), célula da grelha de acordo (*Agreement Gridcell*), célula da grelha de desacordo (*Disagree Gridcell*), estratos em desacordo (*Disagree Strata*), quantidade de desacordo (*Disagree Quantity*) com a capacidade de especificar com precisão as alocações, numa análise em termos comparativos, partindo da quantidade, nota-se que a chance de concordância é significativamente maior em comparação com a quantidade em extrato de desacordo, desta feita, é espectável que os resultados obtidos são em grande parte de confiança, pelo facto de o valor de *Kappa* ser de 0,98.

O resultado anterior (Figura 4.24) apresenta-nos em termos cartográficos a extensão de acerto, falha e falso alarme, desta feita, nos casos em que foi previsto acontecer alteração, mas na verdade não aconteceu, estão assinaladas como falso alarme, e falha, nos casos em que se previa não haver alteração, mas de facto ocorreu.

Procedemos a simulação do crescimento urbano para 2040, uma vez que tínhamos todas as outras variáveis já avaliadas em termos de qualidade, isto é, o mapa de predição de 2014 e a matriz produzida para fins de qualidade, onde valor de *Kappa* obtido na previsão do cenário de 2014 foi satisfatório, tínhamos os dados completos para fins de validação para construção do modelo de expansão urbana para 2040, neste caso as duas variáveis principais para construção do modelo, foram o uso do solo de 2014, derivado da classificação de imagens do Landsat e uso do solo de 2014, derivado da simulação de expansão urbana feita na etapa anterior, portanto das duas variáveis existentes, uma foi usada como ficheiro de entrada para construção do modelo e outra foi usada para validação do mesmo. A (Figura 4.25) apresenta o resultado final da simulação do crescimento urbano de Benguela para o ano 2040.

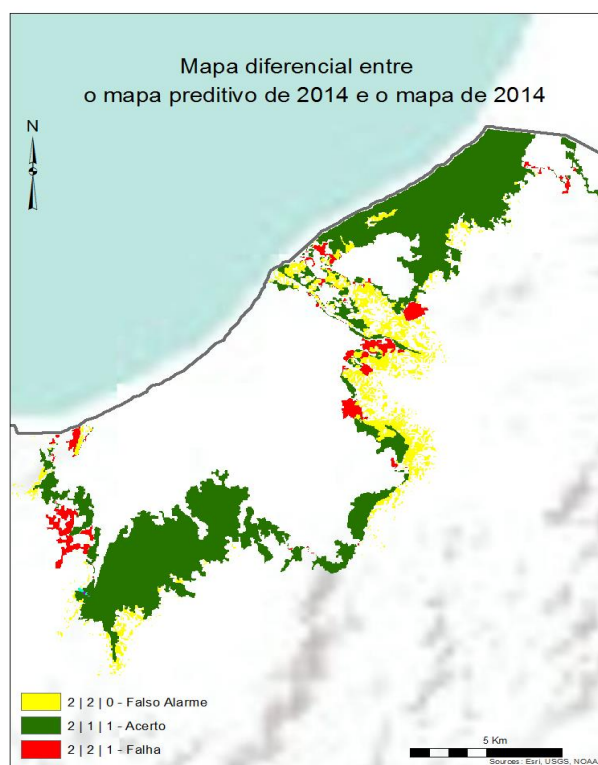


Figura 4.24 - Validação da previsão usando o painel VALIDATION.

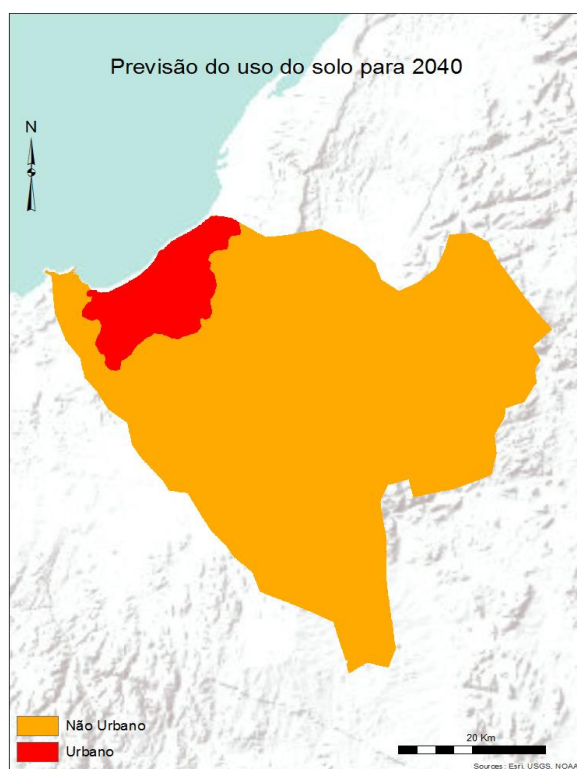


Figura 4.25 - Previsão do uso do solo de Benguela em 2040.

4.7 - Análise de Resultados

Os resultados do exercício indicam forte correlação entre a expansão urbana e o crescimento da população, evidências apontam a guerra civil como potencial causadora de problemas de natureza social e económica, por outro lado, a guerra civil e o êxodo rural, contribuíram de forma significativa para o aumento dos musseques e áreas periurbanas.

Em função das circunstâncias vividas, os resultados indicam que o período de 1994-2004, foi marcado com um ritmo lento em termos de expansão urbana, pouco se tem a dizer, sobretudo com a possibilidade de implementação de grandes equipamentos e infraestruturas públicas ou privadas, que estariam na base das motivações das alterações no uso do solo.

O ponto de maior relevo segundo o espectro histórico da cidade, tem a ver com a grande tendência de movimentação da população, das zonas rurais para o centro da cidade, esses movimentos tiveram impacte significativo, sobretudo para a diversidade do padrão da construção da cidade de acordo a observação feita nas imagens, ao longo do tempo, foi tornando-se cada vez mais evidente a invasão dos espaços, resultando daí graves problemas de construção em zonas inapropriadas.

Por outro lado, os pressupostos de ocupação dos espaços naquele período, não tiveram orientação de acordo aos instrumentos de gestão territorial (PDM) face aos problemas políticos (guerra civil) pressupunha-se que os objetivos ao nível das infraestruturas não eram a primeira prioridade, portanto daí a razão das poucos alterações do uso do solo.

Basicamente são esses os pressupostos que marcaram o período de 1994-2004, no entanto foi um período que em termos de alteração da estrutura urbana, houve pouca variação, tal como podemos verificar no mapa (a) apresentado (Figura 4.26).

Para o período seguinte 2004-2014, era expectável que os instrumentos de gestão do território fossem postos em prática, uma vez que o país já vivia um clima de paz, de acordo as insignificantes mudanças ocorridas no período anterior, era suposto a elaboração de documentos (planos) com o fim de reorientação, definição e divisão das grandes áreas de terra de acordo as necessidades, normas e regras legais, estabelecidas pela administração, de modo a ter um controlo sistemático na distribuição e ocupação do solo, o que provavelmente não terá acontecido, por este motivo, a cidade continuou a crescer sem o devido acompanhamento e controlo.

A densificação da ocupação do solo a partir do período de 2004-2014, foi extremamente forte, houve forte invasão das condicionantes físicas, das reservas, espaços verdes, campos de cultivo, passaram a ser largamente substituídos por áreas densamente construídas e, assim, se foi transformando rapidamente a cidade, transformação baseada em ocupação legal e ilegal.

De acordo aos pressupostos apontados, temos grandes problemas socio-ambientais, que são vistos em quase todos os lugares da cidade, são ainda mais evidentes nos musseques, pelo facto de surgirem num contexto inapropriado, a falta de loteamentos e urbanização, a falta de normas estabelecidas que garantissem um melhor posicionamento e orientação das estruturas das novas construções, condicionaram sistematicamente a possibilidade de planificação para requalificação destas áreas, de formas a garantir maior sustentabilidade e melhoramento da qualidade de vida.

Tendo em conta as diversas formas como se processou a ocupação do solo, deu-nos a entender, a possível falta de preocupação com o meio ambiente, evidências são as poucas áreas verdes que existiam, foram rapidamente trocadas por áreas urbanas, a cidade continua a crescer em conformidade com a densidade populacional, a paisagem tornou-se ainda menos atraente em função dos musseques que foram erguendo-se ao longo do município.

A centralização e os investimentos a serem feitos, podem vir a excitar ainda mais a vinda de povos de outras regiões do país. Em termos de dinâmicas migratórias, constata-se que maior parte dos migrantes, se instalam com suporte principalmente da família, sendo que a instalação inicial é geralmente em bairros periféricos (musseques) é um fenómeno que se não for rigorosamente controlado, tenderá a comprometer ainda mais as políticas públicas.

Em relação aos impactes paisagísticos, destacamos a transformação das áreas verdes que se fixavam na periferia da estrada nacional número 100 que faz a ligação entre a cidade de Benguela ao município da Catumbela até ao Lobito, a zona foi rapidamente transformada, substituída por espaços artificiais, outros problemas causados por ocupação desordenada, estão relacionados com a falta de saneamento básico, acúmulo de lixo nas principais artérias da cidade, elevado índice de poluição do ar e poluição sonora.

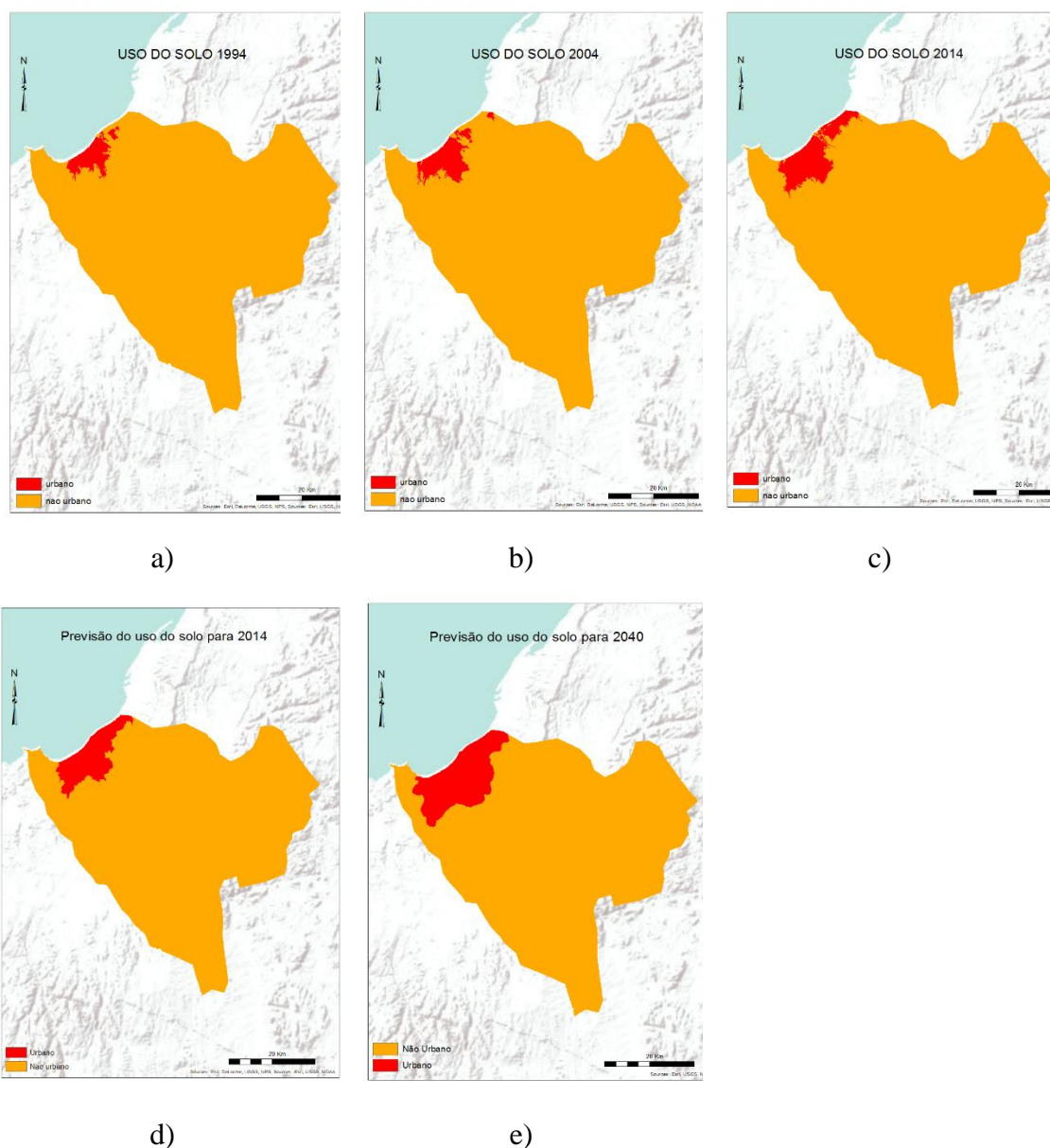


Figura 4.26 - Evolução da mancha urbana da cidade de Benguela.

A extração de informação sobre o uso e ocupação do solo a partir de imagens de detecção remota, é eficaz e eficiente, garante inúmeras vantagens, sobretudo a redução significativa de esforços e custos, tanto monetários como temporais, permite fazer uma análise mais detalhada ao nível do potencial de ocupação do uso do solo, permite o emprego diferentes metodologias, como também permite fazer o cruzamento de dados de várias sensores, captados em datas diferentes, mas com a mesma resolução espacial 30 metros nas bandas RGB.

Propusemo-nos em fazer uma análise de métricas, para estimar em termos de extensão de área urbana e não urbana nas diferentes épocas, no sentido de ter uma ideia mais concreta sobre a evolução do uso do solo ao longo de cada período.

À área selecionada para o exercício, permitiu fazer um mapeamento de 2439 km² de área total, para o período que vai de 1994-2004, tínhamos alteração da área não urbanas para urbana na ordem de 23 km², já para o período de 2004-2014, à área alterada chegou ao 52 km², portanto a previsão para o ano de 2040, estima uma área sujeita à alteração na ordem dos 66 km² (Tabela 4.12).

Tabela 4.12 - Evolução urbana entre 1994 e 2040 (km²)

Classe	Ano	Área (km ²)	Classe	Área (km ²)
Urbano	1994	74	Não urbano	2365
Urbano	2004	97	Não urbano	2342
Urbano	2014	149	Não urbano	2290
Urbano	2040	215	Não urbano	2224

Os valores em termos de área, apontam que a maior evolução urbana se começou a partir da década de 2000, aumentando rapidamente entre 2004-2014, portanto é o período que provou o começa das grandes alterações ao nível da paisagem, tal como podemos ver o gráfico da (Figura 4.27).

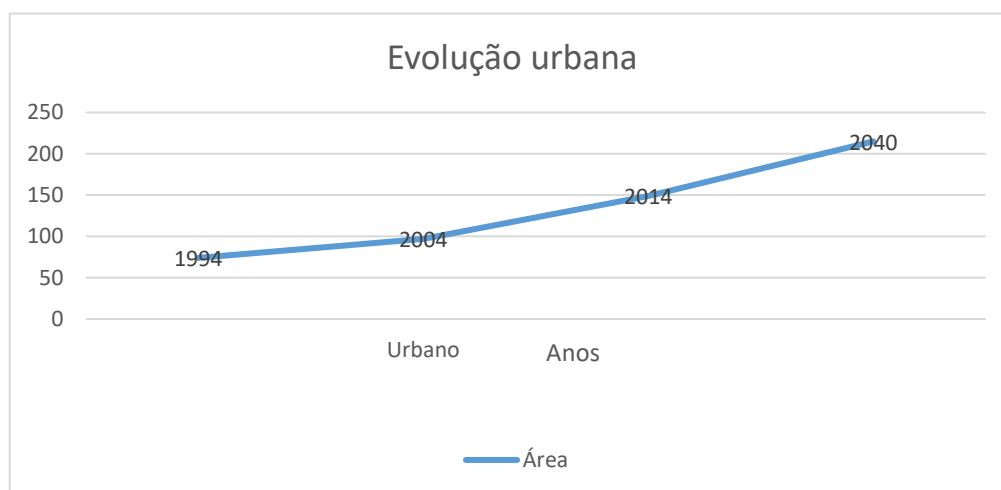


Figura 4.27 - Variação da área.

Os modelos são representações teóricas da realidade, para George Box (1976) “*todos os modelos estão errados, mas alguns são úteis*”. Enquanto Angkaw (2005) defendia que esta afirmação é importante como um princípio que serve como um guia para formulação e interpretação de modelos de previsão. Por definição, todos os modelos de previsão estão errados no sentido de serem representações simplificadas da realidade.

Ao avaliar a utilidade de um modelo, devem ser examinadas as expectativas do modelo, ou seja, a utilização da resposta deste modelo, deve cumprir com o propósito específico em seu contexto original, para que seja muito mais útil (Cardoso, 2005).

Os resultados obtidos no exercício, basicamente os mapas do uso do solo obtido desde a etapa de classificação de imagens até ao processo de simulação, apresentam alguma coerência, as técnicas de previsão de expansão urbana, coadjuvam o processo de tomada de apoio a decisão de fenómenos complexos, basicamente em problemas que necessitam de planeamento e, visam a redução das incertezas, tornando assim os possíveis e futuros riscos mais visíveis e consequentemente mais gerenciáveis.

A revisão das políticas urbanas, trariam inúmeras vantagens no sentido de construir um sistema com maior sustentabilidade, garantindo a participação ativa do cidadão, na elaboração de propostas, na procura de mecanismos para que as instituições dedicadas a produção de informação geográfica, sejam capazes de o fazer, de modo a proporcionar maior alternativa nos trabalhos locais, de forma que as imagens do satélite Landsat, não sejam a maior e única fonte de aquisição de informação gratuita para fins de estudos.

Por exemplo, com imagens de alta resolução espacial 0,5 metros, era expectável sem dúvida, a criação de mapas de uso do solo com maior detalhe, de modo a apresentar um elevado número de classes de uso e ocupação do solo.

De acordo a capacidade de modelação dos AC, em modelar de baixo para cima e vice-versa, propusemos uma metodologia inversa (Figura 4.28) para prever o passado histórico da paisagem, de forma a termos a ideia do contexto urbano da área em estudo, os resultados apontam mudanças significativas em todos os períodos.

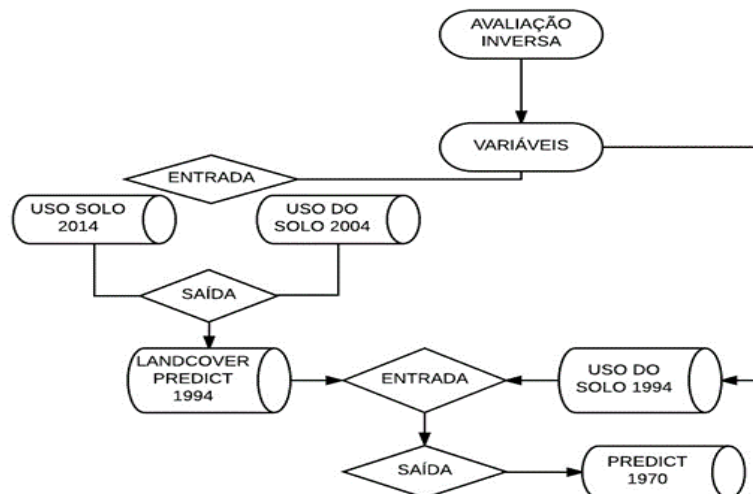


Figura 4.28 - Metodologia inversa da predição do crescimento urbano.



Figura 4.29 - Mapas do uso do solo de 1970 a 2014.

Capítulo 5 - Conclusões

Os sistemas de informação geográfica tornaram-se cada vez mais importantes, são eficientes fundamentalmente no âmbito de resolução de exercícios complexos de apoio a tomada de decisão. Os AC pela sua capacidade intrínseca, de construção de modelos com características assemelhadas as reais, em função dos métodos de calibração que se podem introduzir para o seu ajustamento, sugerimos que os resultados obtidos neste exercício, devem ser discutidos além da capacidade do *software* de gerar resultados interessantes, pelo facto de se fazer o uso de poucas variáveis que possivelmente são insuficientes para caracterização de um fenómeno complexo como este.

As várias metodologias existentes, também são de alguma forma, usadas de acordo a natureza da informação, quanto mais informação existir, mais complexa se torna as metodologias, pelo facto de vir a existir muitos parâmetros a se ter em conta no momento da ponderação das variáveis e calibração dos modelos.

A base material de estudo ofereceu inúmeras vantagens, sobretudo para o entendimento prático do problema, no entanto a nossa discussão podia ir além dos pressupostos apresentados, se existisse dados para área em estudo desagregados a várias escalas, de formas a permitir fazer comparação.

O uso de imagens de detecção remota, com menor resolução espacial em qualquer contexto em que se aplica, afeta a qualidade dos resultados produzidos, pelo facto de um único píxel agregar informações de vários materiais, daí presume-se que a existência de fontes alternativas de informação geográfica, proporcionaria condições de efetuar à análise ao detalhe de modo a ter uma ideia melhor sobre o território.

Independentemente da aplicação de técnicas poderosas, que permite que se analise certos fenómenos a escala orientada ao objeto, para melhor interpretação do problema a ser estudado, sugerimos outras alternativas em termos de informação para avaliação da qualidade nos resultados.

De acordo com os resultados obtidos sobre a área urbana do município de Benguela, aponta-se o período de 2004-2014 como sendo o período de maior crescimento urbano, em comparação com o período de 1994-2004, de uma forma geral o crescimento urbano evoluiu a uma área de 76 km² de 1994 até 2014. Esta informação corrobora com o período de tranquilidade política do país, no entanto, é bem claro que o processo de ocupação fosse maior em relação ao período anterior.

As variáveis apresentadas como estimulantes do crescimento urbano, podem não ser as únicas, sugerimos ser necessária em outros estudos, rever outras variáveis que podem de alguma forma, estar na base do rápido crescimento urbano e desordenado da cidade. As políticas do urbanismo e habitação, os instrumentos de gestão territorial, certamente teriam um forte contributo para a correção dos muitos problemas existentes atualmente.

Os resultados indicam uma forte correlação entre o crescimento da população e o crescimento urbano, a futura tendência de crescimento urbano, está voltada para a direção sul, esta informação vai de acordo ao desenvolvimento rodoviário e as características do relevo da área em estudo.

A metodologia inversa, passou-nos a ideia de que tivemos constantes alterações na paisagem desde os anos 1970, provavelmente dado a situação política do país, as mudanças registadas eram insignificantes comparando com o período de 2004-2014, já em comparação com a previsão feita para 2040, aponta crescimento urbana tenderá a comprometer as políticas publicas caso não se faça alguma intervenção.

5.1 - Limitações

As principais limitações no desenvolvimento do presente trabalho, estão relacionadas com a falta de informação geográfica.

5.2 - Recomendações

Recomendamos que novos estudos baseados em imagens de alta resolução espacial e dados populacionais sejam feitos, de modo a permitir um melhor entendimento do crescimento urbano da cidade de Benguela.

Que o GPB munisse as administrações municipais com meios técnicos e recursos humanos, para contribuir na avaliação dos modelos paisagísticos do município para melhor planificação e ordenamento do território.

Que as administrações municipais criassem mecanismos de por em prática os instrumentos de gestão territoriais, de forma a definir corretamente os vetores de crescimento urbano do município, considerando as variáveis que podem estimular esse crescimento, descriminando às condicionantes de ordem física de acordo a lei, de formas a corrigir e reorientar a continuidade de expansão urbana, no sentido de vir a proporcionar

maior sustentabilidade no desenvolvimento do município.

Que o IGCA elabore propostas que visam a produção cartográfica nas mais diversas escalas, provavelmente, essas propostas podem motivar à aprovação das leis que regulamentam o sector de produção de cartografia, quer seja para instituições quer para particulares.

Bibliografia

- ABRANTES, A.; CARVALHO, R.; FARINHA, N.; PEREIRA, H.; MORGADO, P.; ROCHA, J. (2004) Cartografia de uso/ocupação do solo por fotointerpretação: Um exemplo de análise sobre o concelho de Oeiras, V congresso da Geografia Portuguesa, Portugal: Território e Protagonistas, Guimarães, Universidade do Minho.
- ABRANTES, P.; FONTES, I.; GOMES, E.; ROCHA, J. (2016) Compliance of land cover changes to municipal land use planning: Evidence from the Lisbon metropolitan region (1990-2007), *Land Use Policy*, Volume 51, February, Pages 120-134, ISSN 0264-8377.
- ABRANTES, P.; ROCHA, J.; FONTES, I. (2014) Mathematical models for configuration of CA transition rules, *Association of American Geographers (AAG)*, 2014 Annual Meeting April 8-12, Tampa, Florida (USA).
- AGGARWAL S. (2003) Principles of Remote Sensing Satellite In: *Satellite Remote Sensing and GIS Applications in Agricultural Meteorology*.
- ALDRICH, J. H.; FORREST D. N. (1984) *Linear, Probability, Logit, and Probit Models* (in Series L Quantitative Applications in the Social Sciences). (Newbury Park: Sage University Publication).
- ALKHEDER, S.; WANG, J.; SHAN, J. (2006) Change detection - cellular automata method for urban growth model modelling.
- ALKHEDER, S.; WANG, J.; SHAN, J. (2007) Cellular autómatas urban growth model calibration with genetic algorithms.
- ALMEIDA, C. M. (2003) Stochastic cellular automata modeling of urban land use dynamics: empirical development and estimation, *Computers, Environment and Urban Systems*, In Press, Corrected Proof.
- ALMEIDA, C. M. (2004) Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planeamento: simulação de mudanças de uso do solo em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil. 2004.
- BAENINGER, R. (1999) Região metrópole e interior: espaços ganhadores e espaços perdedores nas migrações recentes.

- BARBOSA, A.; ROQUE, D.; FONSECA, A.; ROCHA, J. (2015) Modelo de Classificação Orientado para Objecto para Cartografia Operacional de Ocupação do Solo Usando Imagens de Média Resolução, in Valores da Geografia. Actas do X Congresso da Geografia Portuguesa, Maria J. Roxo (Coord.), Lisboa.
- BARBOSA, A.; ROQUE, D.; FONSECA, A.; ROCHA, J. (2016) Classificação de Imagens de Satélite Multitemporais Baseada em Objectos e Apuramento Semiautomático de Limiares de Corte, II Conferência Nacional de Geodesição, Escola Superior de Tecnologia do Barreiro, Instituto Politécnico de Setúbal, Barreiro, 12 e 13 de Maio.
- BARREDO, J. I., KASANKO, M. *et al* (2002). Modelling dynamic spatial processes: simulation of urban future scenarios through cellular automata.
- BATTY, M. (2003) Agents, cells, and cities: new representational models for simulating multiscale urban dynamics.
- BATTY, M. *et al* (1999) Modelling urban dynamics through GIS-based cellular automata», in Computer, Environment and Urban Systems.
- BATTY, M.; XIE, Y. (1994). From cells to cities. Environment and Planning.
- BATTY, M.; XIE, Y. (2005) Urban growth using cellular automata models, in: D.J.Maguire, Batty, M.; and Goodchild M, F., (eds.) (Ed) GIS, Spatial Analysis and Modelling (Redlands, ESRI Press).
- BERNARDES, T. (2006) Caracterização do ambiente agrícola do Complexo Serra Negra por meio de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica.
- BLASCHKE, T.; STROBL, J. (2001) What's wrong with pixels? Some recent developments interfacing remote sensing and GIS. In: GeoBIT/GIS.
- BOAVIDA-PORTUGAL, I.; ROCHA, Jorge; FERREIRA, C. (2016) Tourism development and land use policy: Predictive Cellular automata scenarios for land use/cover changes in Alentejo (Portugal) coastal area, Applied Geography, Volume 77, December, Pages 82-91.
- BOX, G. E. P. (1979) Robustness in scientific model building. In R. L. Launer, & G. N. Wilkinson, Robustness in statistics. New York: Academic Press.
- BRIASSOULIS, H., (2000) Analysis of land use change: theoretical and modeling approaches University of Aegean, Lesvos, Grécia.

- CARDOSO, M. M. (2005) Universidade federal de Itajubá simulação de modelos garch para séries temporais univariadas de demanda de energia eléctrica para consumidores livres em regime de curto prazo.
- CAMAGNI R. (2001a) The economic role and spatial contradictions of global city-regions: the functional, cognitive and evolutionary context, in: A. Scott. (Ed.) Global City-regions: Trends, Theory, Policies, pp. 96-118. New York: Oxford University Press
- CHISSINGUI, A. V. (2010) Aplicação dos sistemas de informação geográfica ao sector mineral.
- CIHLAR, J. (2000) Land cover mapping of large areas from satellites: status and research priorities. International Journal of Remote Sensing.
- CLARK, W.A.; HOSKING, P.L. (1986) Statistical Methods for Geographers (Chapter 13). (New York: John Wiley & Sons).
- COHEN, J. (1960) A coefficient of agreement for nominal scales. Educational and Psychological Measuremen.
- COLGATON, R. G. (1991) A review of assessing the accuracy of classifications of remotely sensed data. Remote Sensing of Environment.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. (1999) Assessing the accuracy of remotely sensed data: Principles and practices New York: Lewis publishers.
- CORREIA M. M. S. (2003) Utilização de detecção remota para a monitorização temporal do uso do solo no estuário do tejo.
- ENCARNAÇÃO, S. A.; TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J. (2004) Segmentação Multiresolução e Classificação Orientada a Objecto de Imagens SPOT, CD ROM Proceedings VIII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras, USIG.
- ENCARNAÇÃO, S.; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ESTANQUEIRO, R. (2007) Cartografia de uso do solo em ambiente urbano: análise orientada por objecto de imagens Quickbird, Finisterra, Volume XLII, número 84, Lisboa, pp.87-102.
- ENCARNAÇÃO, S.; TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J., (2005) Cartografia de Uso do Solo em Ambiente Urbano: Análise Orientada a Objecto de Imagens Quickbird. In João Casaca e João Matos (ed.), IV Conferência de Cartografia e Geodesia, Lidel, Lisboa, pp. 349-359.

- ENCARNAÇÃO, S.; TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ESTANQUEIRO, Rossana (2004) Cartografia de uso do solo à escala regional com recurso a análise orientada a objecto e segmentação multiresolução, V congresso da Geografia Portuguesa, Portugal: Território e Protagonistas, Guimarães, Universidade do Minho.
- ENGELN, G.; WHITE, R.; ULJEE, I. (1997), Integrating Constrained Cellular Automata Models, GIS and Decision Support Tools for Urban and Regional Planning and Policy Making, Timmermans, H. (ed): Decision Support Systems in Urban Planning. London: E&FN Spon. pp. 125-155.
- ESTANQUEIRO, R.; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; SOUSA, P. M. (2007) Classificação do Uso do Solo Urbano Através da Análise Linear de Mistura Espectral com Imagens de Satélite, Finisterra, Vol. XLII, no 83, Edições Colibri, Lisboa, pp. 47-62.
- ETHEL, P. S.; VERA, R. T. (2003) Paisagem Urbana. FERNANDO, S. R. (2011) Sistemas complexo, modelação e geosimulação da evolução de padrões de uso e ocupação do solo.
- FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. (2005) Spatial behaviors and land use evolution patterns on developed coastal areas: Fuzzy data integration though multi criteria analysis for cellular automata modeling, ICCCM 05, International Conference on Coastal Management in the Atlantic and Mediterranean, Tavira, Portugal.
- FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S. (2005) LAND USE EVOLUTION PATTERNS ON DEVELOPED COASTAL AREAS: Fuzzy Data Integration Through Neural Network and Cellular Automata Modelling, ecTQG'05 – 14th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, Tomar, Portugal.
- FIGUEIREDO.; VIEIRA. (2007) Estudo do comportamento dos índices de Exactidão Global, Kappa e Tau, comumente usados para avaliar a classificação de imagens do sensoriamento remoto.
- FONSECA, A. D.; FERNANDES, J. C.; (2004) Detecção remota (Radiação electromagnética, Sensores orbitais, Processamento de imagem e Aplicações).
- FONSECA, M. F.; MATIAS. L. F. (2009) Potencial das aplicações de imagens do satélite EROS em estudos geográficos.

- FOODY, G. M. (2002) Status of land cover classification accuracy assessment. *Remote Sensing Environment* 80, 185-201.
- GABINETE DE ESTUDOS DE PLANEAMENTO E ESTATÍSTICA DA PROVÍNCIA DE BENGUELA - Programa Provincial de Desenvolvimento Económico e Social (2009-2013).
- GASPAR, N.; TENEDÓRIO, J. A.; SANTOS, T.; ROCHA, J. (2010) Texture Analysis of SPOT5 Data for Land Cover Mapping on the Metropolitan Area of Lisbon in *Computational Vision and Medical Image Processing*, João Manuel R.S. Tavares e R.M. Natal Jorge (eds.), Taylor & Francis Group, Londres, pp.369 - 374 (p. 442).
- GERMANE, V. (2003) Angola: Movimentos migratórios e Estados pré-coloniais – Identidade nacional e autonomia regional.
- GOODCHILD, M. F.; JANELLE, D. G. (2004) *Spatially Integrated Social Science*.
- HENRIQUES, C. (2005) Monitorização da cidade africana a partir de imagens de satélite, *Cadernos da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa*, no 5.
- HENRIQUES, C. (2008) Maputo. Cinco décadas de Mudança Territorial. O uso do solo observado por tecnologias de informação geográfica, Instituto Português de Apoio ao Desenvolvimento, Setembro.
- HENRIQUES, C.; TENEDÓRIO, J. A. (2009) Remote Sensing, GIS Application and Simulation of Coastal Land Use Changes Based on Cellular Automata: The Case Study of Maputo, Mozambique, *Journal of Coastal Research*, SI 56.
- HORST, T.; MOORE, A. (2003) Industrial Diversity, Economic Development and Highway Investment in Louisiana, T.R.R.
- HUBERMAN, B. A.; GRANCE, N. S. (1993) Evolutionary Games and Computer Simulations, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*.
- IACONO; LEVINSON (2008) Review of Methods for Estimating the Economic Impact of Transportation Improvements, University of Minnesota: NRG Working Paper 000041, Nexus Research Group.
- INSTITUTO NACIONAL DE ESTATÍSTICA ANGOLA (2014) Processo de Recenseamento geral da População e Habitação.
- JARBAS, F. L. (2010) Uso do geoprocessamento na expansão urbana: o caso das comunidades subnormais do município de bayeux-pb.

- JIANGUO, W.; DAVID, J. L. (2002) A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications.
- JITENDRUDU, L. R. B. (2005) Modelling dynamics of urban spatial growth Using remote sensing and Geographical Information System.
- JOÃO, F. (2005) Novo guia prático para pesquisa, elaboração e apresentação de trabalhos científicos e organização.
- JOÃO, H. (2011) Projecto de implementação do modelo SIG na administração municipal da Matala.
- KARAFYLLIDIS, I.; THANAILAKIS, A. (1997) A model for predicting forest fire spreading using cellular automata, *Ecological Modelling*.
- KITOKO, D. Z. (2014) A Informação Geográfica em Angola: Subsídios para Elaboração de uma Estratégia e Plano de Acção de apoio à implementação do Plano Nacional de multiple land use changes using GIS, *International Journal of Geographical Information Science*.
- LAHTI, J. (2008) Modelling Urban Growth Using Cellular Automata: A case study of Sydney, Australia.
- LANDIS, R.; KOCH, G. G. (1977) The measurement of observer agreement for categorical data *Biometrics*, v.33, n.1, p.159-174, mar.
- LANDOR, W. S. Frases e Pensamentos - <http://kdfrases.com/autor/walter-savage-landor> (Acedido em 06 de 2017).
- BRYIS, L, M (2008) Página dinâmica para aprendizado do sensoriamento remoto.
- LEFEBVRE (1991) Reflexões sobre o espaço, o urbano e a urbanização.
- LI, X.; YEH, A. (2000) Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 94
- LI, X.; YEH, A. (2002): Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS, *International Journal of Geographical Information Science*.
- LOPES, C. M.; RODRIGUES, C. U.; SIMAS, G. (2013) Migração interna, urbanização e saúde em Angola.
- LÓPEZ-FERNÁNDEZ, S. (2001) Medidas de concordância: el índice de Kappa.

- LUZ N. B. *et al* (2009) Classificação orientada a objectos de imagens Spot-5 com a finalidade de mapeamento do uso da terra.
- MACHADO, F.; CAETANO, M., (2002) Detecção de alterações de ocupação do solo com uma abordagem orientada por objectos. In: International Symposium on Remote Sensing of Environment, Buenos Aires, Argentina.
- MARQUES DA COSTA, E.; ABRANTES, P.; CARRANCA, M. A.; GOMES, E.; ROCHA, J.; MORGADO, P.; MARQUES DA COSTA, N.; CASTRO, N. (2011) O fenómeno da urbanização e os modelos de ocupação e gestão urbana presentes nos PDM's: Uma leitura comparativa a partir de casos de estudo para apoio à monitorização territorial – VIII Congresso da Geografia Portuguesa. Repensar a Geografia para os novos desafios, Lisboa.
- MELO, R.; HENRIQUES, C. ROCHA, J., PERDIGÃO, A.; (2012) Remote Sensing based Crop Coefficients for Water Management in Agriculture, in Sustainable Development - Authoritative and Leading Edge Content for Environmental Management, Sime Curkovic (eds.), INTECH, Netherlands.
- MENARD, A.; MARCEAU, D. J. (2007) Simulating the impact of forest management scenarios in an agricultural landscape of southern Quebec, Canada, using a geographic cellular automaton. Landscape and Urban Planning, London.
- MINISTÉRIO DE AMBIENTE ANGOLA (1998) Lei no 5/98 de 19 de Junho.
- MINISTÉRIO DO URBANISMO ANGOLA (2004) Lei de Terras de Angola Lei 9/04 de 9 de Novembro.
- MORGADO, P.; ROCHA, J.; FONTES, I. (2015) Um Modelo de Autómatos Celulares para a modelação de cenários preditivos para o ano de 2020 – Análise de alteração aos usos de solo agrícolas para a Região do Oeste e Lezíria do Tejo, VI Congresso de Estudos Rurais, Entre Heranças e Emancipações: Desafios do Rural, Sociedade Portuguesa de Estudos Rurais (SPER), 16 a 18 de Julho, Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa (ICS/UL), Lisboa.
- MORGADO, P.; ROCHA, J. (2007) Integração de Dados Estatísticos na Classificação de Imagens de Satélite.
- MUCANZA, G. G. (2015) Websig NW-Angola Sistema de Informação Geológica do NW de Angola.

- MUKHOPADHYAY. *et al* (2000) Cellular Automata Calibration Model to Capture Urban Growth.
- NORRIS, J.R. (1998) Markov Chains, Cambridge University Press.
- OLIVEIRA, P. A.; PERDIGÃO, A. A.; ROCHA, J.; MORGADO, P. M. (2005) Remote Sensing and GIS for water district management: The Caia network case study, 25th EARSeL Symposium, European Association of Remote Sensing Laboratories, Porto, FC-UP.
- OLIVEIRA, P. A.; PERDIGÃO, A. A.; ROCHA, J.; MORGADO, P. M. (2006) Remote Sensing and GIS for water district management: The Caia network case study, in Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, Marçal (ed.), Millpress, Rotterdam, pp. 315-320 (p. 881).
- PARKER, D. C. *et al* (2003) Multi-Agent Systems for the Simulation of Land-Use and Land-Cover Change: A Review, Annals of the Association of American Geographers.
- PAUL, A. *et al* (2005) Longley Geographical Information Systems and Science 2nd Edition.
- PERDIGÃO, A. M.M., MENESES, A., ROCHA, J., MELO, R., HENRIQUES, C. (2011) The Integrated use of Remote Sensing, GIS and ICT Technologies for water management in semi-arid conditions (Guadiana Basin area), Ecosystem services in soil and water research Focus on Soils and Water Symposium, Uppsala, Sweden.
- PIDD, M. (2003) Tools for thinking modelling in man agement science (Chichester England, Wiley).
- RAPOSO, I.; HENRIQUES, C. (2005) (Sub)urbanidade e transformação do uso do solo na periferia de Maputo, Cadernos da Faculdade de Arquitectura da Universidade Técnica de Lisboa, no 5.
- RIBEIRO (2013) Extracção de Informação Geográfica a partir de Fotografias Aéreas obtidas com VANTs para apoio a um SIG Municipal.
- RINEL, D. G.; LUCAS, C. A.; CHENCI, G. B. (2011) Uma introdução a logica *fuzzy*.
- ROCHA, J. (2001) Classificação de imagens de satélite com recurso a informação não espectral, GeoINova, número 4, DGPR – FCSH – UNL, Lisboa, pp. 159-186. 96
- ROCHA, J. (2003) Integração teledetecção-sistemas de informação geográfica para a produção de cartografia de uso/ocupação do solo, Cadernos de Geografia, no

- especial – actas do terceiro colóquio de geografia de Coimbra, Imprensa de Coimbra, Lda., Coimbra, pp. 109–119.
- ROCHA, J. (2005) Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica para a produção de cartografia de Uso e Ocupação do Solo, Finisterra, Vol. XL, no 80, Edições Colibri, Lisboa, pp. 23-39.
- ROCHA, J. (2011) Sistemas Complexos, Modelação e Geosimulação da Evolução de Padrões de Uso e Ocupação do Solo.
- ROCHA, J., *et al* (2006) Evolução dos padrões de ocupação do solo em áreas litorais. Desenvolvidas: integração de dados fuzzy com redes neuronais e Autómatos celulares.
- ROCHA, J., PERDIGÃO, A., MELO, R., HENRIQUES, C. (2010) Gestão agrícola com base em dados orbitais remotos, ESIG – Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras.
- ROCHA, J., PERDIGÃO, A., MELO, R., HENRIQUES, C. (2010) Managing Water in Agriculture through Remote Sensing Applications in 30th EARSeL Symposium Remote Sensing for Science, Education, and Natural and Cultural Heritage, Rainer Reuter (eds.), Unesco, Paris, pp. 223-230.
- ROCHA, J., TENEDÓRIO, J. A. ENCARNAÇÃO, S.; SOUSA, P. M. (2005) Land use/cover maps by RS and ancillary data integration in a GIS environment, 25th EARSeL Symposium, European Association of Remote Sensing Laboratories, Porto, FC-UP.
- ROCHA, J.; *et al* (2001) Geosimulação e análise espacial: redes neuronais e autómatos celulares na previsão de alterações nos padrões de uso e ocupação do solo.
- ROCHA, J.; FERREIRA, J. C.; SIMÕES, J.; TENEDÓRIO, J. A. (2007) – “Modelling coastal and land use evolution patterns through neural network and cellular automata integration.”, Journal of Coastal Research, SI 50 (Proceedings of the 9th International Coastal Symposium), 21 – 24. Gold Coast, Austrália, pp. 827-831.
- ROCHA, J.; Ferreira, J. C.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S. (2005) Evolução dos Padrões de Ocupação do Solo em áreas Litorais Desenvolvidas: Integração de Dados Fuzzy com Redes Neuronais e Autómatos Celulares, X Colóquio Ibérico de Geografia A Geografia Ibérica no Contexto Europeu Évora, Universidade de Évora.

- ROCHA, J.; QUELUZ, M. P. (2002) Integration of Census Data, Remote Sensing and GIS Techniques for Land Use and Cover Classification, in Remote Sensing for Environmental Monitoring, GIS Applications, and Geology, Manfred Ehlers, Editor, Proceedings of SPIE Vol. 4545, Toulouse, pp. 73-83.
- ROCHA, J.; QUELUZ, Maria P; TENEDÓRIO, J. A. (2001) IDECIS: Integração de Dados Censitários na Classificação de Imagens de Satélite, ESIG2001 – VI Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica. USIG, Novembro, Lisboa.
- ROCHA, J.; RODRIGO, C.; VIANA, C.; BARBOSA, A. (2015) Planning and Land Use/Cover Scenarios: The Role of Probabilistic Algorithms, AESOP - Definite space – fuzzy responsibility, July 13-17, Prague, Czech Republic.
- ROCHA, J.; RODRIGO, C.; VIANA, C.; BARBOSA, A. (2016) Predictor Variables Effects on Urban Cellular Automata Based Models, Geography Abstracts, 2nd Annual International Conference on Geography, Edited by Gregory T. Papanikos, 6-9 June 2016, Athens, Greece.
- ROCHA, J.; RODRIGO, C.; VIANA, C.; FONTES, I. (2015) Sensibility of Cellular Automata Simulation Models to Predictive Factors, ATINER Annual International Conferences on Earth, Geology, and Geography, Edited by Gregory T. Papanikos, 1-4 June 2015, Athens, Greece.
- ROCHA, J.; SOUSA MORGADO, P. (2007) Integração de dados estatísticos na classificação de imagens de satélite. Estudos para o Planeamento Regional e Urbano, no70. CEG. Lisboa. pp. 158.
- ROCHA, J.; SOUSA, P. M.; TENEDÓRIO, J. A. (2002) Geosimulação e Análise Espacial: Redes Neurais e Autómatos Celulares na Previsão de Alterações nos Padrões de Uso e Ocupação do Solo, Inforgeo, no 16 & 17, APG/Edições Colibri, Lisboa, pp. 123-137.
- ROCHA, J.; SOUSA, P.; TENEDÓRIO, J. A.; FERREIRA, J. C. (1998) Teledetecção e Ambiente: Integração de Informação Geográfica Proveniente de Sensores Remotos Orbitais no Estudo da Rede de Corredores Verdes na Área Metropolitana de Lisboa, Inforgeo, no 12 & 13, APG/Edições Colibri, Lisboa, pp. 551-558.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO J. A.; ENCARNACÃO, S.; MORGADO, P. (2006) Land use/cover classification through multiresolution segmentation and object oriented neural networks classification, in Remote Sensing for Environmental Monitoring,

- GIS Applications, and Geology VI, edited by Manfred Ehlers & Ulrich Michel, Proceedings of SPIE Vol. 6366, Estocolmo, pp. 72-83.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. (2001) Classificação de Imagens de Satélite com Recurso a Informação Multi-fonte e Multi-resolução., Actas do IV congresso da Geografia Portuguesa, APG, Lisboa.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. (2001) Integrating Demographic GIS and Multisensor Remote Sensing Data in Urban Land Use/Cover Maps Assembly, in IEEE/ISPRS (ed.) Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Roma, IEEE, pp. 46-51.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. (2001) Integrating Demographic GIS and Multisensor Remote Sensing Data in Urban Land Use/Cover Maps Assembly, IEEE/ISPRS Joint Workshop on Remote Sensing and Data Fusion over Urban Areas, Novembro, Roma.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A. ENCARNAÇÃO, S.; ESTANQUEIRO, R. (2006) Land use/cover classification using orbital and ancillary data, neural networks and multiresolution segmentation, 26th EARSeL Symposium, New Developments and Changes in Remote Sensing, Warsaw, Poland.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A., ABREU, D. (2013) Sistemas complexos, modelação e geossimulação da evolução do espaço urbano, In Correia, Teresa Pinto; Henriques, Virgínia; Julião, Rui Pedro (Coord), IX Congresso da Geografia Portuguesa – Geografia: Espaço, Natureza, Sociedade e Ciência, Associação Portuguesa de Geógrafos, pp. 77-82.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S. (2005) Producing land use/cover maps with the integration of remote sensing and ancillary data in a GIS environment, GIS Planet 2005, II conference & exhibition on geographic information, Estoril, Estoril Congress Center.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; ESTANQUEIRO, R. (2007) Land use/cover classification using orbital and ancillary data, neural networks and multiresolution segmentation, in Oluió Z. Bochenek (ed.). New Developments and Challenges in Remote Sensing/ Proceedings of the 26th EARSeL Symposium. Millpress Rotterdam, pp.241-250.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; PONTES, S. (2004) Análise Espacial e Geocomputação: Utilização de Autómatos Celulares com base em Redes Neurais na previsão de alterações de uso do solo, V congresso da

Geografia Portuguesa, Portugal: Território e Protagonistas, Guimarães, Universidade do Minho.

- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; PONTES, S. (2004) Integração de autómatos celulares e redes neuronais em ambiente SIG para previsão de alterações nos padrões de uso e ocupação do solo, CD-Rom Proceedings da 8a Conferência Nacional do Ambiente, Lisboa, DCEA-FCT-UNL.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; PONTES, S. (2005) Interação entre Redes Neuronais e Autómatos Celulares para Previsão de Alterações nos Padrões de Uso e Ocupação do Solo. In João Casaca e João Matos (ed.), IV Conferência de Cartografia e Geodesia, Lidel, Lisboa, pp. 81-90.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; PONTES, S. (2004) Geocomputação e Análise Espacial: A utilização de Autómatos celulares com base em Redes Neuronais na previsão de alterações nos padrões de uso do solo num contexto periurbano, CD ROM Proceedings VIII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras, USIG.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; ENCARNAÇÃO, S.; PONTES, S. (2005) Autómatos Celulares com base em Redes Neuronais para Previsão de Transformações no Uso e Ocupação do Solo, JOCLAD 2005, XII Jornadas de Classificação e Análise de Dados, Ponta Delgada, Universidade dos Açores.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J.A.; ENCARNAÇÃO, S.; SOUSA, P. M. (2005) Análise Linear Discriminante de Mistura Espectral para Classificação de Uso do Solo Urbano, JOCLAD 2005, XII Jornadas de Classificação e Análise de Dados, Ponta Delgada, Universidade dos Açores.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; SOUSA, P. M. (2002) Classificação linear de imagens. Aplicações à Escala Regional: O caso da Área Metropolitana de Lisboa, ESIG2002 – VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica. USIG, Novembro, Oeiras.
- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; SOUSA, P. M. (2002) Utilização de dados indiferenciados em detecção remota: Criação de mapas de uso e ocupação do solo em áreas periurbanas com recurso a dados indiferenciados (fuzzy), ESIG2002 – VII Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica. USIG, Novembro, Oeiras.

- ROCHA, J.; TENEDÓRIO, J. A.; SOUSA, P. M.; COSTA, E. M.; COSTA, N. M. (2005) Caracterização da Franja Urbana-Rural Através de Gradientes: Análise por Continuum Versus Contraste, X Colóquio Ibérico de Geografia A Geografia Ibérica no Contexto Europeu Évora, Universidade de Évora.
- ROOSEVELT, T., Frases e Pensamentos - <http://kdfrases.com/autor/theodore-roosevelt> (Acedido em 06 de 2017).
- ROSA, R., (2005) Geotecnologias na geografia aplicada. SANGERMANO, F., EASTMAN, J.R., ZHU, H. (2010) Similarity weighted instance based learning for the generation of transition potentials in land change modeling. Transactions in GIS, 569-580.
- SANTOS, *et al* (2008) SIG na avaliação de áreas para ocupação urbana de João Pessoa, PB.
- SANTOS, S. I. P. (2014) Cenários de Alterações de Uso e Ocupação do Solo até 2040 em Portugal Continental.
- SANTOS, T., TENEDÓRIO, J. A., ENCARNAÇÃO, S.; ROCHA, J. (2006) Comparing pixel vs. object based classifiers for land cover mapping with Envisat-MERIS data, 26th EARSeL Symposium, New Developments and Changes in Remote Sensing, Warsaw, Poland.
- SANTOS, T., TENEDÓRIO, J. A., ENCARNAÇÃO, S.; ROCHA, J. (2007) Comparing pixel vs. object based classifiers for land cover mapping with Envisat-MERIS data in Oluió Z. Bochenek (ed.). New Developments and Challenges in Remote Sensing/ Proceedings of the 26th EARSeL Symposium. Millpress Rotterdam, pp.251-261.
- SANTOS, T., TENEDÓRIO, J. A., ROCHA, J.; ENCARNAÇÃO, S. (2005) SATSTAT: Exploratory Analysis of Envisat-MERIS Data for Land Cover Mapping of Portugal in 2003, ecTQG'05 – 14th European Colloquium on Theoretical and Quantitative Geography, Tomar, Portugal.
- SARAIVA, H. F. (2014) Avaliação de áreas potenciais para a instalação de aterros sanitários no Município de Viana – Angola: análise multicritério e SIG.
- SECUMA, A. J. (2012) Modelação do crescimento urbano da província de luanda, Angola.
- SILVA. (2005) Complexity, Emergence and Cellular Urban Models: Lessons Learned from Appling SLEUTH to two Portuguese Cities., European Planning Studies.

- SIMÕES J., ROCHA J., FERREIRA J.C., TENEDÓRIO J.A., MORGADO P. (2009) A bottom up approach to the modelling of costal and land use evolution throught GIS. CoastGIS 2009 - 9th International Symposium on GIS and Computer Mapping for Coastal Management, Santa Catarina, Brazil.
- SOUSA P., ROCHA J., TENEDÓRIO J.A.; ENCARNAÇÃO S. (2006) Land use/cover maps by RS and ancillary data integration in a GIS environment, in Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, Marçal (ed.), Millpress, Rotterdam, pp. 487-494 (p. 881).
- SOUSA, P. M.; TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNAÇÃO, S. (2005) Geosimulation and spatial analysis: Linking Cellular Automata and Neural Networks to Forecast Land Use/Cover Change, GIS Planet 2005, II conference & exhibition on geographic information, Estoril, Estoril Congress Center.
- SOUSA, A. M. O.; SILVA, J. R. M. (2011) Fundamentos Teóricos de Detecção Remota.
- SOUSA, J. F.; SILVA, J. C.; ROCHA, J. (1999) O Uso e a Ocupação do Solo no Litoral da Região Centro: Contributos para o Plano de Ordenamento da Orla Costeira Ovar-Marinha Grande, Actas do ESIG'99 - V Encontro sobre Sistemas de Informação Geográfica, USIG, Novembro, Oeiras.
- SUAREZ.; CANDEIAS. (2012) Avaliação de acurácia da classificação de dados de sensoriamento remoto para o município de Maragogipe.
- TENEDÓRIO J. A.; FERREIRA J. C.; ROCHA J.; SOUSA P. (1997) Remotly Sensed Imaging for Greenways Planning in Environmental Challenges in an Expanding Urban World and the Role of Emerging Information Technologies, Machado J.; Ahern, J., Editors, National Centre for Geographical Information (CNIG), Lisbon, Portugal, 538p.
- TENEDÓRIO J.A.; ROCHA J.; ENCARNAÇÃO S.; ESTANQUEIRO R. (2006) Great Lisbon Metropolitan Area land use/cover characterization through multi-temporal and multi-resolution VIS components analysis, in Global Developments in Environmental Earth Observation from Space, Marçal (ed.), Millpress, Rotterdam, pp. 495-502 (p. 881).
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J; ENCARNAÇÃO, S. (2005) Integração de Informação Multi-Fonte e Multi-Resolução em Ambiente SIG para Classificação de Dados Orbitais. In João Casaca e João Matos (ed.), IV Conferência de Cartografia e Geodesia, Lidel, Lisboa, pp. 337-347.

- TENEDÓRIO, J. A.; FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.; SOUSA, P. (1997) Remote Sensed Imaging for Greenways Planning, Environmental challenges in an expanding urban world, junho, Costa da Caparica.
- TENEDÓRIO, J. A.; FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.; SOUSA, P. (1997) uma cadeia de tratamento rápido de informação geográfica proveniente dos satélites SPOT HRV e LANDSAT TM, ao serviço da rede de corredores verdes para a Área Metropolitana de Lisboa, comunicação apresentada na ESIG/97, Junho, Lisboa.
- TENEDÓRIO, J. A.; FERREIRA, J. C.; ROCHA, J.; SOUSA, P.; MOTA, G.; PONTES, S. (1999) Carta de Uso do Solo da Área Metropolitana de Lisboa (CARTUS-AML), Actas do VIII Colóquio Ibérico de Geografia, Volume II, DGPR-UNL, Lisboa, pp. 711-716.
- TENEDÓRIO, J. A.; MOTA, G.; ROCHA, J.; FERREIRA, J. C.; SOUSA, P. (1999) Detecção remota, ambiente e o Sistema Metropolitano de Informação Geográfica (SMIG/AML), Actas do V Congresso Nacional dos Engenheiros do Ambiente, APEA, Novembro, Lisboa.
- TENEDÓRIO, J. A.; PONTES, S.; FERREIRA, J. C.; ROCHA, J. (1999) Delimitação de corredores verdes por integração Detecção Remota-SIG, Actas do ESIG'99 - V Encontro sobre Sistemas de Informação Geográfica, USIG, Novembro, Oeiras.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNACÃO, S.; ESTANQUEIRO, R. (2005) Great Lisbon Metropolitan Area land use/cover characterization through multi temporal and multi resolution VIS components analysis, 25th EARSeL Symposium, European Association of Remote Sensing Laboratories, Porto, FC-UP.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNACÃO, S.; ESTANQUEIRO, R. (2006) Cartografia de Uso e Ocupação do Solo: Classificação vectorial com redes neuronais orientadas para objecto, CD ROM Proceedings, IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras, USIG.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNACÃO, S.; FERREIRA, J. C. (2006) Modelos Geográficos e Sistemas Complexos: Técnicas de Geocomputação aplicadas à previsão de alterações na linha de costa, CD ROM Proceedings, IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras, USIG.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNACÃO, S.; MORGADO, P. (2006) Decomposição do Uso do Solo Através do Modelo VIS: Aplicação da análise linear discriminante de mistura espectral à Grande Área Metropolitana de Lisboa,

- CD ROM Proceedings, IX Encontro de Utilizadores de Informação Geográfica, Oeiras, USIG.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; ENCARNAÇÃO, S.; SOUSA, P. M. (2004) Classificação de uso do solo urbano através de análise linear de mistura espectral em imagens de satélite, V congresso da Geografia Portuguesa, Portugal: Território e Protagonistas, Guimarães, Universidade do Minho.
- TENEDÓRIO, J. A.; ROCHA, J.; FERREIRA, J. C.; SOUSA, P. (1999) Integração Detecção Remota - Sistemas de Informação Geográfica: Para Quê? Como?, Actas do VIII Colóquio Ibérico de Geografia, Volume II, DGPR-UNL, Lisboa, pp. 702-710.
- TORRENS, P. M. (2001) Can geocomputation save urban simulation Throw some agents into the mixture, simmer and wait ... Working papers series (London, Centre for Advanced Spatial Analysis).
- TORRENS, P. M.; O'SULLIVAN, D., (2001) Editorial: Cellular automata and urban simulation: where do we go from here?, Environment and Planning.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY (USGS). Landsat Project Description. Disponível em: <http://landsat.usgs.gov/about_project_descriptions.php> (Acedido em Julho de 2016).
- VANDERLEI R. G., *et al* (2015) Análise comparativa do modelo integrado de uso do solo e Transporte e do modelo de quatro etapas para o Desenvolvimento urbano do distrito federal.
- VEERBEEK, W., *et al* (2010) Urban Growth Modeling to Predict the Changes in the Urban Microclimate and Urban Water Cycle.
- VIANA, C.; ROCHA, J. (2014) O efeito de escala nos modelos de simulação baseados em Autómatos Celulares (AC), in 'A JANGADA DE PEDRA' – Geografias Ibero-Afro-Americanas. Actas do Colóquio Ibérico de Geografia, António Vieira e Rui Pedro Julião (Coord.), Associação Portuguesa de Geógrafos e Departamento de Geografia da Universidade do Minho, Guimarães, pp. 1633-1639.
- VIANA, C.; ROCHA, J. (2015) O Efeito de Vizinhaça Induzido pela Escala em Modelos de Autómatos Celulares, in Valores da Geografia. Actas do X Congresso da Geografia Portuguesa, Maria J. Roxo (Coord.), Lisboa, pp. 335 - 340.
- WANG, S.Q.; ZHENG, X.Q.; ZANG, X.B. (2012) Accuracy assessments of land use change simulation based on Markov-cellular automata model

- WHITE, R. *et al* (1997) The use of constrained cellular automata for high-resolution modeling of urban land use dynamics. *Environment and Planning B: Planning and Design* 24, pp. 323 – 343.
- WHITE, R.; ENGELEN, G. (1993) Cellular automata and fractal urban form: a cellular modeling approach to the evolution of urban land use patterns. *Environment and Planning A*, 25, pp. 1175 – 1199.
- WHITE, R.; ENGELEN, G. (1997) Cellular Automata as the Basis of Integrated Dynamic Regional Modelling. *Environment and Planning B*: 24, pp. 235 – 246.
- WU, F.; WEBSTER, C. J. (1998) Calibration of stochastic cellular automata: the application to rural-urban land Conversions.
- WU, F.; WEBSTER, C. J. (2000) Simulating artificial cities in a GIS environment: urban growth under alternative regulation regimes, *int. j. geographical information science*.
- WU, J.; David, J. L. (2002) A spatially explicit hierarchical approach to modeling complex ecological systems: theory and applications.
- XIA.; YEH. (2002) Neural-network-based cellular automata for simulating multiple land use changes using GIS. *International Journal of Geographical Information Science*. 14.

WEB

- <http://users.med.up.pt/joakim/intromed/estatisticakappa.htm> (Acedido em 11/2016)
- http://pt.wikipedia.org/wiki/Microscopia_confocal (Acedido em 11/2016)
- <https://www.repository.utl.pt/bitstream/10400.5/2037/1/wp200411.pdf> (Acedido em 10/2016)
- https://pt.wikipedia.org/wiki/Corrente_de_Benguela (Acedido em 09/2016)
- https://pt.wikipedia.org/wiki/Guerra_Civil_Angolana (Acedido em 09/2016)
- Instituto Nacional de Estatística Luanda-Angola 2011. (Acedido em 10/2016)
- landsat.usgs.gov/L8_band_combos.php (Acedido em 10/2016)
- www.angolabelazebelo.com/2008/12/um-pouco-de-historia-de-benguela-14/. (Acedido em 25/10/2016).
- www.cesadufs.com.br/ORBI/public/uploadCatalago/18531616022012Sensoriamento_Remoto_I_Aula_9.pd. (Acedido em 12/2016)
- www.coursera.org/learn/aplicativo-para-iphone/lecture/pLQom/4-cores (Acedido em 10/2016)

www.internal-displacement.org/.../angola?...2011. (Acedido em 07/2016)

www.unmultimedia.org/radio/.../entrevista-oim-e-deslocados-em-angola/ (Acedido em 08/2016)

<http://www.rri.wvu.edu/WebBook/Briassoulis/contents.htm>. Acedido em 15/11/2016.

Comparação dos métodos de classificação supervisionada de imagem Máxima Verossimilhança e Redes Neurais em ambiente urbano 2007.